

Sumario

SUMARIO	1
1. DIMENSIONADO MEMBRANA BOTONERA	5
1.1. Botón para bajar el asiento	5
1.2. Botón para subir el asiento	5
1.3. Botón para desplazar asiento	7
1.4. Botón para inclinar asiento	9
1.5. Botón para inclinar respaldo	11
2. MECANISMO APERTURA DISPOSITIVO	13
3. MOVIMIENTO DE LA TAPA Y LA BOTONERA	17
3.1. Análisis dinámico del mecanismo 1	17
3.2. Análisis dinámico del sistema botonera	20
3.2.1. (CASO A). Fuerzas de enlace en el mismo sentido	21
3.2.2. (CASO B). Fuerza F_{e1} invertida	23
3.2.3. (CASO B). Fuerza F_{e2} invertida	25
3.3. Dimensionado del muelle del mecanismo 1	26
3.4. Cálculo de la evolución de la fuerza del usuario durante la bajada	30
4. CALCULO DE FUERZAS DE ENSAMBLAJE	36
4.1. Ensamblaje en las carcasas de la botonera	37
4.2. Ensamblaje de las carcasas del dispositivo	38
5. PROCESO PRODUCTIVO	40
5.1. Proceso de fabricación de las piezas	41
5.1.1 Proceso de pintado y laserado de los botones	41
5.1.2. Tabla del coste de fabricación y precio de compra de los componentes	45
5.2. Proceso de montaje	50
5.2.1. Estudio del proceso de montaje de la botonera	50
5.2.2. Estudio del proceso de montaje del dispositivo	53
5.3. Estudio del test de hardware y de visión	58
5.4. Inversiones del proyecto	59
6. PRESUPUESTO	61
7. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	63
8. CARACTERÍSTICAS COMPONENTES	64



9. RECICLAJE DEL PRODUCTO	68
BIBLIOGRAFÍA	70
Referencias bibliográficas	70
Bibliografía complementaria	70





1. DIMENSIONADO MEMBRANA BOTONERA

En este apartado se presentan los cálculos correspondientes a la membrana de la botonera para acabar de especificar las características necesarias para que los botones tengan el tacto deseado. Para realizar dichos cálculos se han utilizado las guías de diseño proporcionada por el proveedor de las membranas Dätwyler i/o devices. Otro dato a destacar es la imposición de la misma fuerza de accionamiento para cada botón así como un desplazamiento de accionamiento muy parecido.

1.1. Botón para bajar el asiento

Considerando despreciables los rozamientos del botón con la carcasa que lo soporta y que el accionamiento sobre los conos es directo es fácil calcular los puntos del diagrama s-F. Este botón está soportado por dos conos colocados de tal manera que ambos soportarán aproximadamente la misma carga. Dicho esto solo queda imponer que la fuerza que el usuario debe aplicar al botón para realizar el contacto es $4N \pm 0,75N$ y que el recorrido de pulsado del botón sea aproximadamente 1,5mm se ha llegado a la siguiente tabla de resultados:

	F_1	F_2	SNAP	S	F_3	S_4
	Fuerza actuación	Fuerza de contacto	$100 \cdot (F_1 - F_2) / F_1$	Despl. Contacto mecánico	Fuerza retorno ($0,85 \cdot F_2$)	Despl. Contacto eléctrico
Cono	$2N \pm 0,35$	1N	$50\% \pm 10\%$	$1,2mm \pm 0,1$	0,85N	$1,5mm \pm 0,1$
Botón (2 conos)	$4N \pm 0,7$	2N	$50\% \pm 10\%$	$1,2mm \pm 0,1$	1,7N	$1,5mm \pm 0,1$

TABLA 1.1. Puntos característicos del diagrama s-F del botón de bajar asiento

1.2. Botón para subir el asiento

El accionamiento de este botón debe transformar un movimiento vertical ascendente en un movimiento vertical descendente. Para conseguirlo este mecanismo se vale de un rocker el cual tiene el centro de rotación entre el punto donde el botón ejerce la fuerza y el punto



donde el rocker actúa sobre el cono invirtiendo así el sentido de la fuerza. Debido a que las distancias entre el centro de rotación y los puntos de aplicación de la fuerza son diferentes este mecanismo transforma la fuerza y la distancia de pulsado ejercida por el usuario al botón. Debido a esto se debe calcular cual será la acción final que se ejercerá sobre los conos si el usuario aplica $4N \pm 0,75N$ sobre el botón haciendolo rotar 8° respecto su eje de rotación tal como se puede observar en las siguientes figuras:

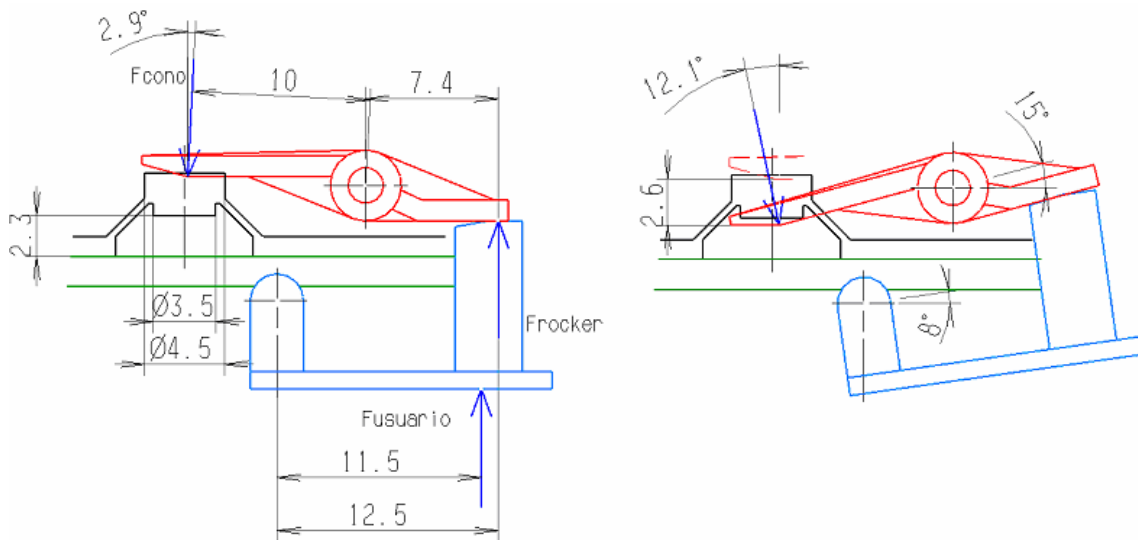


FIG.1.1.1. Accionamiento del botón para subir el asiento

En la figura anterior se puede observar en rojo el rocker y en azul el botón para subir el asiento. Hay que comentar también que este rocker actúa sobre dos conos dispuestos de tal manera que cada uno soporta la mitad de la carga. Seguidamente se presentan los cálculos necesarios para acabar de describir estos conos de la membrana.

$$F_{\text{usuario}} = 4N \pm 0,75N$$

$$M_{o\text{Frocker}} = M_{o\text{Fusuario}} \rightarrow F_{\text{rocker}} = F_{\text{usuario}} \cdot 11,5/12,5 = 3,7N$$

$$M_{o\text{Frocker}} = M_{o\text{Fcono}} \rightarrow F_{\text{cono}} = F_{\text{rocker}} \cdot 7,4/10 = 2,7N$$

$$\text{Botón inicio movimiento} \rightarrow F_{\text{conoV}} = \cos 2,9^\circ \cdot 2,7 = 2,7 \text{ N}$$

$$\text{Botón final movimiento} \rightarrow F_{\text{conoV}} = \cos 12,1^\circ \cdot 2,7 = 2,6 \text{ N}$$



	F_1	F_2	SNAP	S	F_3	S_4
	Fuerza actuación	Fuerza de contacto	$100 \cdot (F_1 - F_2) / F_1$	Despl. Contacto mecánico	Fuerza retorno ($0,85 \cdot F_2$)	Despl. Contacto eléctrico
Cono	$1,4N \pm 0,35$	$0,7N$	$50\% \pm 10\%$	$2,3mm \pm 0,1$	$0,6N$	$2,6mm \pm 0,1$
Botón (2 conos)	$2,8N \pm 0,7$	$1,4N$	$50\% \pm 10\%$	$2,3mm \pm 0,1$	$1,2N$	$2,6mm \pm 0,1$

TABLA 1.2. Puntos característicos del diagrama s-F del botón de subir el asiento

1.3. Botón para desplazar asiento

Como se puede observar en la figura A.2. el conjunto formado por el slider y el botón (que están unidos rígidamente) deslizan usando la carcasa como guía. El usuario hace deslizar el botón provocando que el slider presione al cono. Estos actuadores están guiados de tal manera que solo se les permite el movimiento vertical. En las siguientes figuras se pueden observar el conjunto y las piezas del mismo estudiadas dinámicamente:

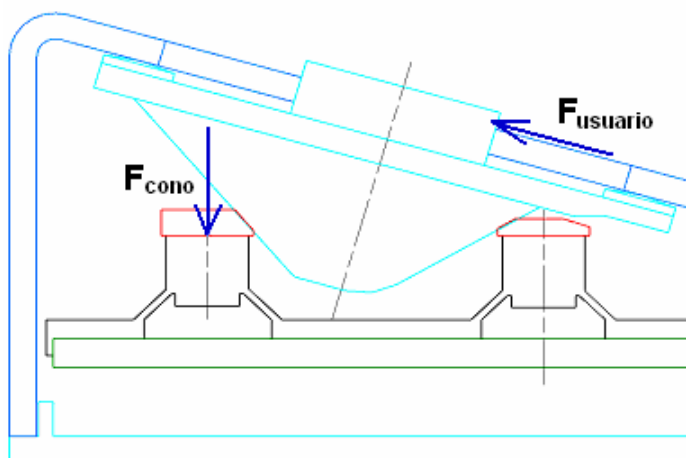


FIG.1.2. Mecanismo para mover el asiento



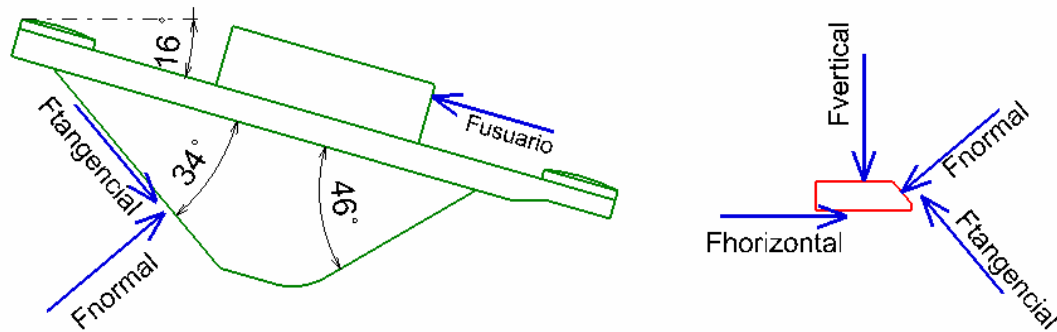


FIG.1.3. Diagramas de fuerza del slider y del actuador para mover hacia delante

Para realizar los siguientes cálculos se ha impuesto que la fuerza aplicada por el usuario es $4\text{N} \pm 0,75\text{N}$ y el desplazamiento del botón $2\text{mm} \pm 0,3$.

(1) Cálculos para mover el asiento hacia delante:

$$F_{\text{normal}} = F_{\text{usuario}} \cdot \sin 34^\circ = 2,2\text{N}$$

$$F_{\text{tangencial}} = F_{\text{normal}} \cdot \mu = 2,2 \cdot 0,15 = 0,3\text{N}$$

$$F_{\text{vertical}} = F_{\text{normal}} \cdot \cos 50^\circ - F_{\text{tangencial}} \cdot \cos 40^\circ = 1,2\text{ N}$$

$$\text{-Desplazamiento vertical del cono nominal: } 2\text{mm} \cdot \sin 34^\circ = 1,1\text{mm}$$

$$\text{-Desplazamiento vertical del cono mínimo: } 1,7\text{mm} \cdot \sin 34^\circ = 0,95\text{mm}$$

$$\text{-Desplazamiento vertical del cono máximo: } 2,3\text{mm} \cdot \sin 34^\circ = 1,3\text{mm}$$

$$\text{-'travel to mechanical contact' = } 0,9\text{mm (Para asegurar el contacto)}$$

(2) Cálculos para mover el asiento hacia atrás:

$$F_{\text{normal}} = F_{\text{usuario}} \cdot \sin 46^\circ = 2,9\text{N}$$

$$F_{\text{tangencial}} = F_{\text{normal}} \cdot \mu = 2,9 \cdot 0,15 = 0,4\text{N}$$

$$F_{\text{vertical}} = F_{\text{normal}} \cdot \cos 30^\circ - F_{\text{tangencial}} \cdot \cos 60^\circ = 2,3\text{N}$$

$$\text{-Desplazamiento vertical del cono nominal: } 2\text{mm} \cdot \sin 46^\circ = 1,4\text{mm}$$

$$\text{-Desplazamiento vertical del cono mínimo: } 1,7\text{mm} \cdot \sin 46^\circ = 1,2\text{mm}$$



-Desplazamiento vertical del cono máximo: $2,3 \cdot \sin 46^\circ = 1,6 \text{ mm}$

-‘travel to mechanical contact’ = 1mm

	F₁	F₂	SNAP	S	F₃	S₄
	Fuerza actuación	Fuerza de contacto	$100 \cdot (F_1 - F_2) / F_1$	Despl. Contacto mecánico	Fuerza retorno ($0,85 \cdot F_2$)	Despl. Contacto eléctrico
Cono asiento hacia delante	1,2N±0,35	0,6N	50%±10%	0,9mm±0,1	0,5N	1,2mm±0,1
Cono asiento hacia detrás	2,3N±0,35	1,15N	50%±10%	1mm±0,1	1 N	1,3mm±0,1

TABLA 1.3. Puntos característicos del diagrama s-F del botón de subir el asiento

Como se ha podido observar los dos conos correspondientes a este accionamiento son diferentes tanto en forma como en las características de su diagrama s-F.

1.4. Botón para inclinar asiento

Se ha impuesto para este botón una rotación entorno al punto O de 8° para pulsarlo y que la fuerza que el usuario le debe aplicar para conseguir el contacto sea $4 \text{ N} \pm 0,75 \text{ N}$. Seguidamente se puede observar una figura en la que está representado este mecanismo así como las fuerzas que aplica el usuario sobre el botón y la que llega al cono en cuestión. En verde están representadas las fuerzas correspondientes a inclinar el asiento hacia abajo y en azul las que provocan la inclinación del asiento hacia arriba.



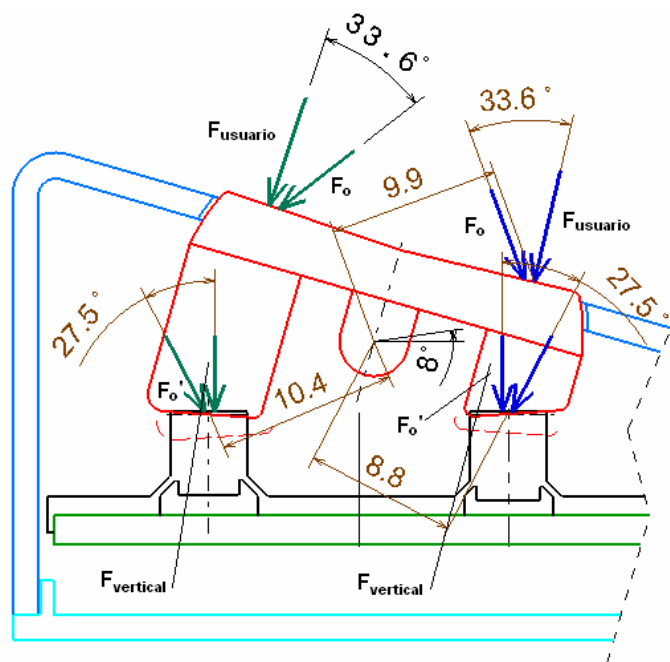


FIG.1.4. Esquema mecanismo para reclinar asiento

(1) Cálculos para inclinar asiento hacia arriba

$$F_o = F_{\text{usuario}} \cdot \cos 33,6^\circ = 3,33\text{N}$$

$$M_{F_o} = 3,33 \cdot 9,9 = 33\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{F_o} = M_{F_o'} = F_o' \cdot 8,8 \rightarrow F_o' = 33/8,8 = 3,75\text{N}$$

$$F_{\text{vertical}} = \cos 27,5^\circ \cdot F_o' = 3,3\text{N}$$

(2) Cálculos para inclinar asiento hacia abajo

$$F_o = F_{\text{usuario}} \cdot \cos 33,6^\circ = 3,33\text{N}$$

$$M_{F_o} = 3,33 \cdot 9,9 = 33\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{F_o} = M_{F_o'} = F_o' \cdot 10,4 \rightarrow F_o' = 33/10,4 = 3,2\text{N}$$

$$F_{\text{vertical}} = \cos 27,5^\circ \cdot F_o' = 2,8\text{N}$$



	F_1	F_2	SNAP	S	F_3	S_4
	Fuerza actuación	Fuerza de contacto	$100 \cdot (F_1 - F_2) / F_1$	Despl. Contacto mecánico	Fuerza retorno ($0,85 \cdot F_2$)	Despl. Contacto eléctrico
Cono incl. Hacia arriba	$3,3N \pm 0,35$	0,7N	$50\% \pm 10\%$	$0,9mm \pm 0,1$	1,4N	$1,2mm \pm 0,1$
Cono incl. Hacia abajo	$2,8N \pm 0,35$	1,4N	$50\% \pm 10\%$	$1,2mm \pm 0,1$	1,2 N	$1,5mm \pm 0,1$

TABLA 1.4.. Puntos característicos del diagrama s-F del botón de inclinar el asiento

1.5. Botón para inclinar respaldo

El funcionamiento del accionamiento de este botón es análogo al del botón para inclinar el asiento cambiando las cotas de las piezas. La siguiente figura corresponde al accionamiento de este botón en la que se ha representado en rojo las fuerzas correspondientes a inclinar el respaldo hacia delante y en azul hacia atrás.

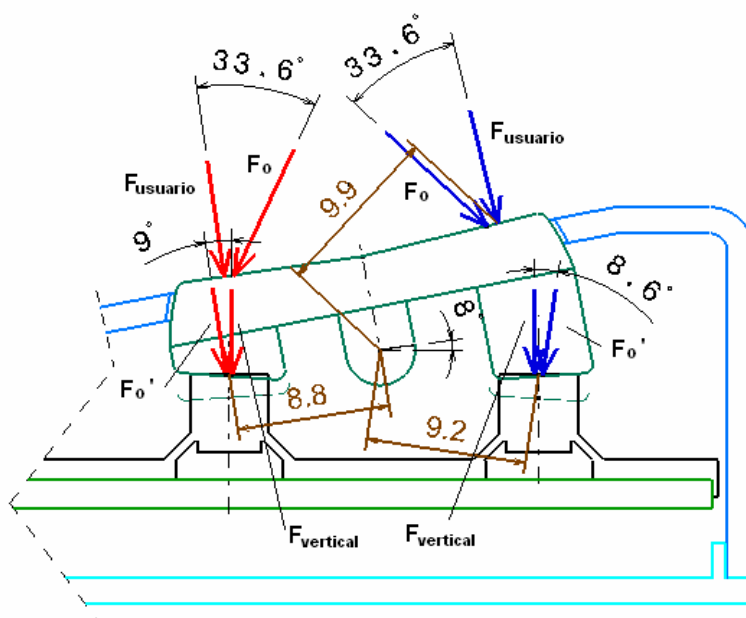


FIG.1.5..Esquema mecanismo para inclinar asiento



Seguidamente se presentan los correspondientes cálculos:

(1) Inclinar respaldo hacia delante

$$F_o = F_{\text{usuario}} \cdot \cos 33,6^\circ = 3,33\text{N}$$

$$M_{Fo} = 3,33 \cdot 9,9 = 33\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Fo} = M_{Fo'} = F_o \cdot 9,2 \rightarrow F_o' = 33/9,2 = 3,6\text{N}$$

$$F_{\text{vertical}} = \cos 8,6^\circ \cdot F_o = 3,5\text{N}$$

(2) Inclinar respaldo hacia atrás

$$F_o = F_{\text{usuario}} \cdot \cos 33,6^\circ = 3,33\text{N}$$

$$M_{Fo} = 3,33 \cdot 9,9 = 33\text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Fo} = M_{Fo'} = F_o \cdot 8,8 \rightarrow F_o' = 33/8,8 = 3,7\text{N}$$

$$F_{\text{vertical}} = \cos 9^\circ \cdot F_o = 3,6\text{N}$$

	F₁	F₂	SNAP	S	F₃	S₄
	Fuerza actuación	Fuerza de contacto	$100 \cdot (F_1 - F_2) / F_1$	Despl. Contacto mecánico	Fuerza retorno (0,85 · F ₂)	Despl. Contacto eléctrico
Cono incl. Hacia delante	3,5N±0,35	1,8N	50%±10%	1,1mm±0,1	1,5N	1,4mm±0,1
Cono incl. Hacia atrás	3,6N±0,35	1,8N	50%±10%	1mm±0,1	1,5 N	1,3mm±0,1

TABLA 1.5. Puntos característicos del diagrama s-F del botón de inclinar el asiento



2. MECANISMO APERTURA DISPOSITIVO

En este apartado se presentaran las características del mecanismo de apertura así como los cálculos necesarios para la elección del muelle para cumplir las especificaciones necesarias de este botón. Se ha impuesto que el usuario deberá aplicar sobre el botón una fuerza equivalente a $4N \pm 0,75N$ y éste se desplazará verticalmente hacia abajo $2mm \pm 0,1$.

Seguidamente se presenta una sección del mecanismo cuando éste está reteniendo la botonera en su posición inicial.

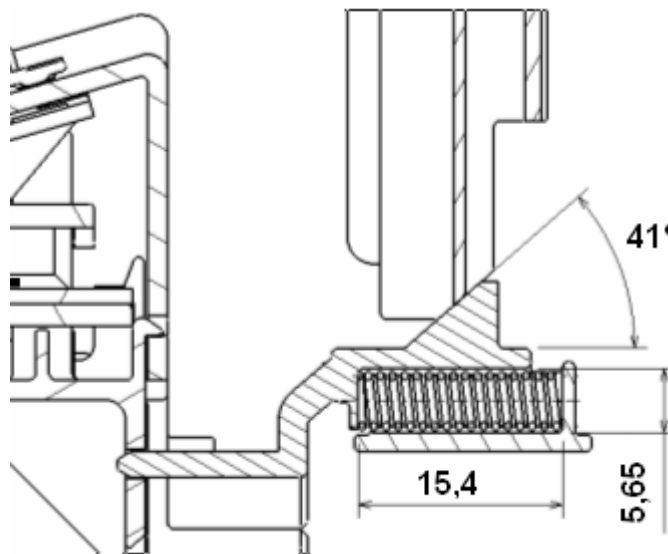


FIG.2.1. Sección del mecanismo de apertura

Como se ha mencionado anteriormente el botón al ser pulsado debe descender aproximadamente 2mm así que si se tiene en consideración la inclinación de las caras de contacto el desplazamiento horizontal de la corredera será:

$$\Delta x = 2mm / \tan 41^\circ = 2,4mm \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Para calcular la constante k del muelle solo hace falta calcular la fuerza en sentido horizontal que hace el botón sobre la corredera. En la siguiente figura están representadas dichas fuerzas en los dos sólidos.



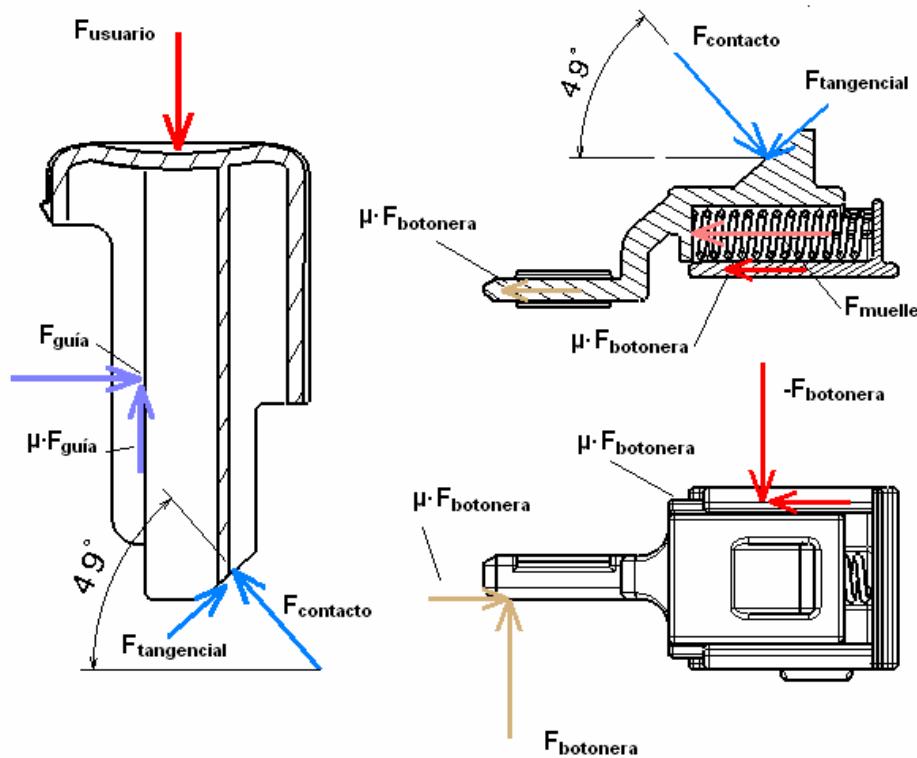


FIG.2.2. diagrama dinámico del botón y la corredera

Se plantea en el botón el equilibrio estático para despejar las incógnitas imponiendo que el coeficiente de rozamiento entre plásticos es 0,15 (peor de los casos).

$$\sum F_v = 0 \Rightarrow -F_{\text{contacto}} \cdot \cos 49^\circ + \mu \cdot F_{\text{contacto}} \cdot \cos 41^\circ + F_{\text{guia}} = 0 \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$\sum F_h = 0 \Rightarrow -F_{\text{usuario}} + \mu \cdot F_{\text{guia}} + F_{\text{contacto}} \cdot \sin 49^\circ + \mu \cdot F_{\text{contacto}} \cdot \sin 41^\circ = 0 \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Sustituyendo los valores correspondientes en las ecuaciones anteriores se obtiene que:
 $F_{\text{contacto}} = 4,3\text{N}$ y $F_{\text{guia}} = 8,1\text{N}$.

La fuerza que hace el botón sobre la guía y viceversa podría llegar a provocar que éste se atascara pero la unión con la carcasa frontal está guiada cosa que evita esta situación. Si esto no fuera suficiente se podría engrasar dicha unión para favorecer el deslizamiento relativo entre estas piezas.

Planteando la situación de equilibrio estático en la corredera se obtendrá la fuerza que ésta ejerce sobre el muelle. Para aplicar esta expresión hay que tener en cuenta el valor de la



fuerza que hace la botonera sobre la corredera cosa que está calculado en el capítulo 3 de este ANEXO y que es igual a 6,5N.

$$\sum F_h = 0 \Rightarrow -2 \cdot \mu \cdot F_{botonera} - F_{muelle} + F_{contacto} \cdot (\cos 49^\circ - \mu \cdot \cos 41^\circ) = 0 \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Con la expresión 2.4 se obtiene que $F_{muelle}=0,5\text{N}$. Si se impone el valor obtenido de la expresión 2.1 a la siguiente ecuación se obtiene la constante k requerida para el muelle del mecanismo.

$$K = F / \Delta x \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Entonces el muelle de este mecanismo tiene una $k=208 \text{ N/m}$.

Para dimensionar el muelle se iterará utilizando la siguiente expresión extraída del capítulo 3.3. (pg.70) correspondiente al cálculo de muelles helicoidales del libro Diseño y Cálculo de muelles del Departamento de ingeniería mecánica de la UPC .

$$K = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot N} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

El material escogido para este muelle es hilo de acero especial para muelles la G del cual es 80MPa.

El alojamiento para este muelle representa una limitación en sus medidas que se ve reflejada en la siguiente expresión:

$$D + d \leq 5,5\text{mm} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Iterando con la expresión B.6 e imponiendo la expresión 2.7 para eliminar muelles demasiado grandes se ha llegado a la solución de un muelle de $d=0,5\text{mm}$ (diámetro hilo), $D=5\text{mm}$ (diámetro de espira) y $N=24$ espiras. Por último la longitud inicial de este muelle debe ser aproximadamente 17 mm para estar un milímetro comprimido en su alojamiento y apretar a la corredera contra la botonera en su posición de cerrado.



Por último hay que comprobar que entre las espiras haya más distancia que el Δx calculado en la expresión 2.1. Por lo tanto se debe cumplir:

$$longitud_{\text{alojamiento}} - N \cdot d > \Delta x \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Este muelle con las dimensiones de este alojamiento lo cumple sobradamente.



3. MOVIMIENTO DE LA TAPA Y LA BOTONERA

En este apartado se estudiará el apartado dinámico y cinemática del conjunto de mecanismos responsable de mover la tapa y la botonera.

Se estudiará el movimiento de bajada de la botonera en el cual interviene el usuario empujándola para devolverla a su posición inicial. Se aprovecharán estos cálculos para dimensionar el muelle del mecanismo 1 y a la vez comprobar que la fuerza que debe aplicar el usuario no sea excesiva en ningún punto del recorrido debido a un muelle mal dimensionado. De este modo los cálculos que engloban al movimiento de bajada tienen las siguientes fases u objetivos:

- (1) Dimensionar el muelle del mecanismo 1.
- (2) Comprobar que la fuerza del usuario esté dentro de una tolerancia establecida: $5,5N \pm 2N$.

Para realizar estos cálculos se ha dividido este movimiento en veinte posiciones para simplificar la resolución ya que la geometría de las guías complica el cálculo de una expresión matemática continua del movimiento.

Para realizar dichos cálculos se han tomado las siguientes hipótesis:

- (1) Debido a las bajas velocidades asociadas a estos mecanismos se han impuesto a cada posición las condiciones de equilibrio estático ($\Sigma F=0$ y $\Sigma M=0$) a cada una de ellas.
- (2) Se ha dividido cada movimiento en 20 posiciones equi-espaciadas respecto a la posición de la manivela del mecanismo 1 (Ver planos E001 y E002).
- (3) Para tomar las diferentes medidas, volúmenes y pesos se ha utilizado el modelo 3D realizado en Catia v5.

3.1. Análisis dinámico del mecanismo 1

En la siguiente figura se puede observar el esquema del primer mecanismo el cual es el encargado de mover el conjunto de la botonera. Este mecanismo fuerza a la botonera a deslizar por unas guías inclinadas a través de una manivela movida a su vez por un muelle helicoidal de torsión. Esta manivela está engranada con un damper (amortiguador angular)



para suavizar el movimiento. Se ha elegido como sistema la manivela y se han representado las fuerzas que se ejercen sobre ella de la siguiente manera.

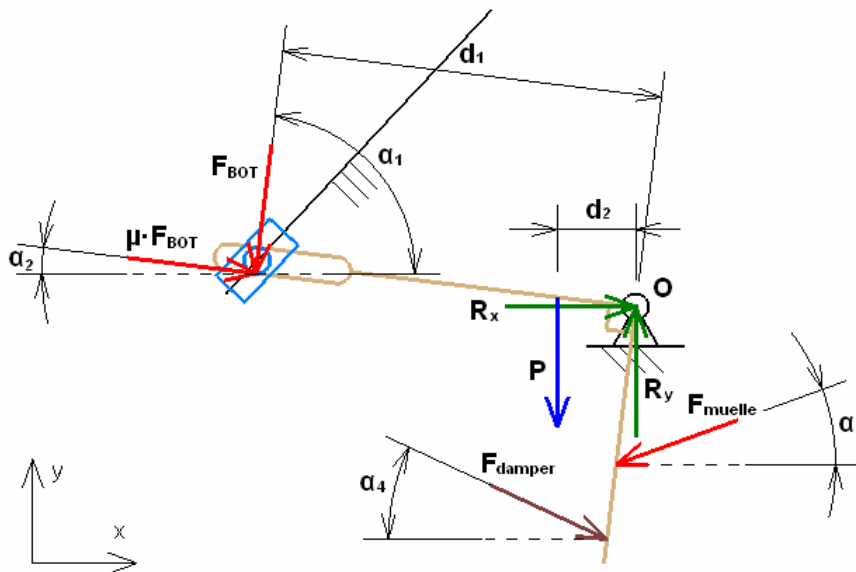


FIG.3.1. Esquema de fuerzas del mecanismo 1

Donde:

- (1) F_{bot} [N]: es la fuerza que la botonera hace sobre la manivela.
- (2) R_x y R_y [N]: Son las fuerzas de reacción sobre el eje de la manivela en la articulación O.
- (3) F_{muelle} [N]: Es la fuerza que el muelle hace sobre la manivela.
- (4) F_{damper} [N]: Es la fuerza que el damper hace sobre la manivela. El Damper elegido para este mecanismo será proveído por NifCO. Se ha elegido un damper tipo F que a 23°C y a velocidades angulares en torno a 20rpm ejerce un momento constante e igual a 9,48N·mm. Si se divide por el diámetro primitivo del engranaje de este dispositivo se encontrará que la fuerza que se ejerce sobre el diente será igual a 2,2 N.
- (5) P [N]: Es el peso de la manivela. En este caso es 0,02N según datos extraídos del 3D.

En la figura anterior también están indicadas las diferentes medidas que caracterizan cada posición del proceso. Estas longitudes y ángulos serán extraídos directamente del 3D en cada posición representada en el plano E001.



En la siguiente imagen se puede observar este mecanismo en 3D para aclarar el diagrama de fuerzas expuesto en la figura anterior.

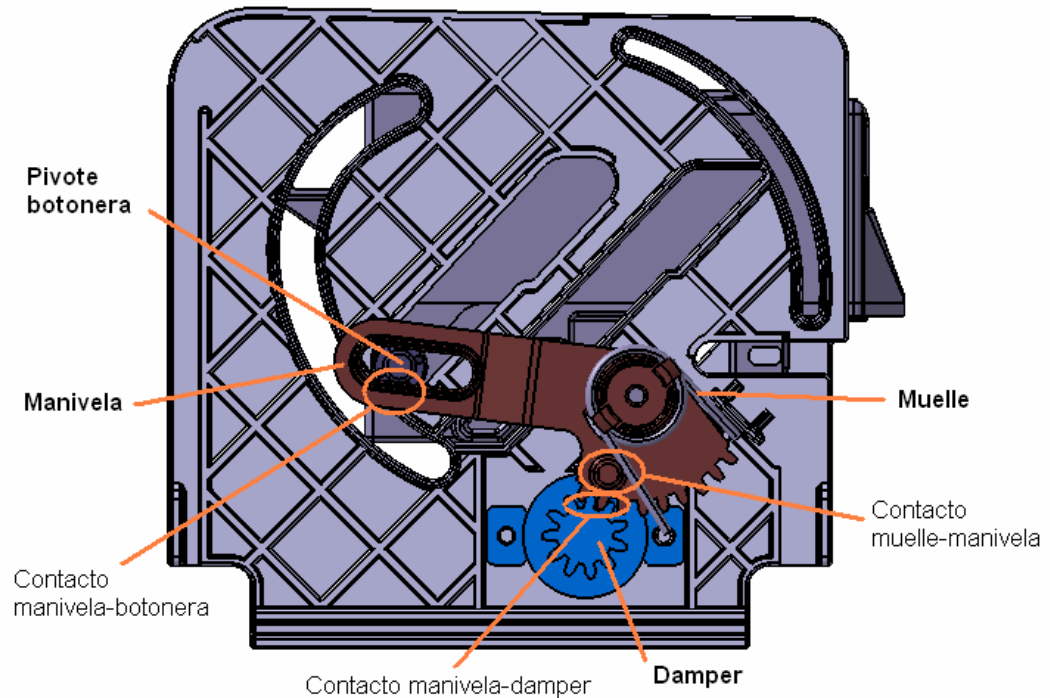


FIG.3.2. Mecanismo 1 3D

En la figura anterior se pueden observar todos los componentes del mecanismo 1 así como los principales contactos entre ellos.

Para relacionar las diferentes fuerzas entre ellas se impondrán las ecuaciones de equilibrio estático del sistema (la manivela en este caso).

En la figura 3.1. solo estaban representadas las medidas que varían durante el movimiento pero para completar los datos necesarios para resolver el problema se necesitarán las siguientes medidas fijas durante el movimiento.



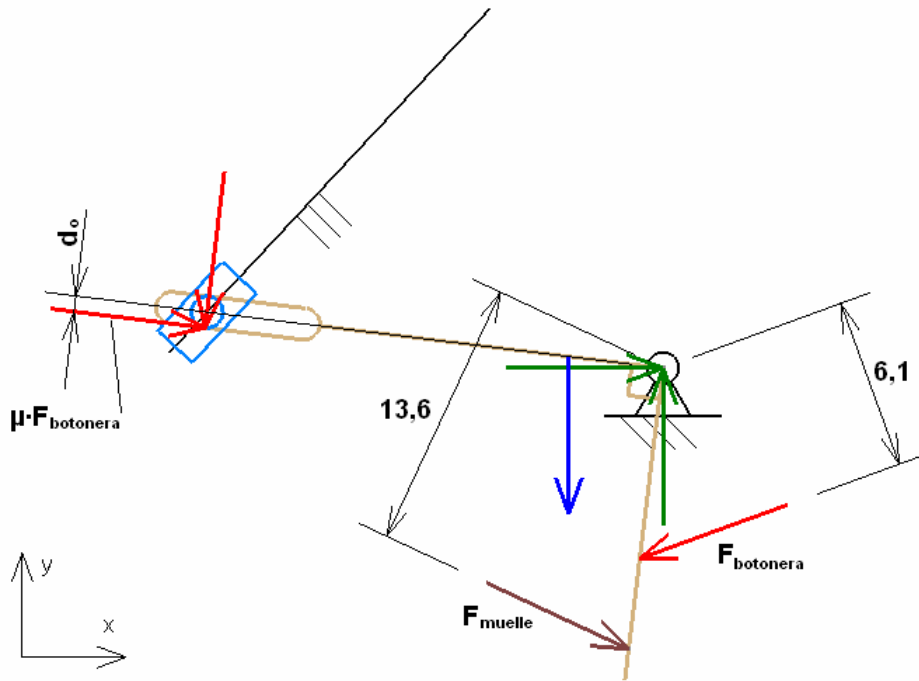


FIG.3.3. Medidas constantes del mecanismo 1

Donde d_o toma el valor 2,15 si el sentido de la fuerza $\mu \cdot F_{bot}$ es el del dibujo o -2,15 si tiene el sentido contrario.

A continuación utilizando las diferentes medidas de las figuras 3.2 y 3.3. se pueden deducir las siguientes ecuaciones de equilibrio.

$$\Sigma F_h = 0 \rightarrow \mu \cdot F_{BOT} \cdot \cos \alpha_2 - F_{BOT} \cdot \cos \alpha_1 - F_{muelle} \cdot \cos \alpha_3 + F_{damper} \cdot \cos \alpha_4 + R_x = 0 \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$\Sigma F_v = 0 \rightarrow -\mu \cdot F_{BOT} \cdot \sin \alpha_2 - F_{BOT} \cdot \sin \alpha_1 - F_{muelle} \cdot \sin \alpha_3 - F_{damper} \cdot \sin \alpha_4 - P + R_y = 0 \quad (\text{Ec. 3.2})$$

$$\Sigma M_z(O) = 0 \rightarrow -\mu F_{BOT} \cdot \sin \alpha_2 - F_{BOT} \cdot \sin \alpha_1 - F_{muelle} \cdot \sin \alpha_3 - F_{damper} \cdot \sin \alpha_4 - P + R_y = 0 \quad (\text{Ec. 3.3})$$

3.2. Análisis dinámico del sistema botonera

Para relacionar la acción del muelle con la acción del usuario se debe plantear también el sistema correspondiente a la botonera y formar un conjunto de ecuaciones con los dos sistemas en cada posición correspondiente los planos E001 y E002.

En el conjunto de la botonera se pueden dar tres casos diferentes en lo que respecta a las fuerzas según la posición. Seguidamente se expondrán las tres posibles situaciones:



3.2.1. (CASO A). Fuerzas de enlace en el mismo sentido

En la siguiente imagen se puede observar la vista desde el plano XY de la botonera.

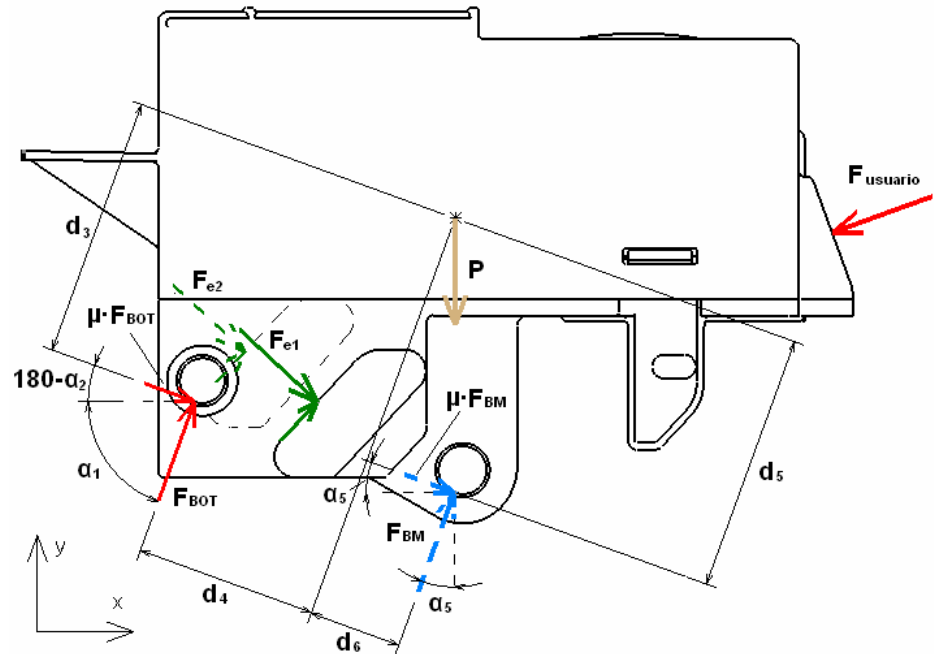


FIG. 3.4. Vista lateral botonera caso A. (F_{e1} y F_{e2} hacia 'delante')

Donde:

- (1) F_{BOT} [N]: Es la reacción de la fuerza del mecanismo 1 de la FIG. 3.1.
- (2) F_{BM} [N]: Es la fuerza que hace la botonera sobre la manivela del mecanismo 3
- (3) F_{e1} y F_{e2} [N]: Fuerzas de enlace entre la botonera y las guías situadas en la referencia fija.
- (4) P [N]: Peso del conjunto de la botonera. Igual a 1,2N.

Seguidamente se presentarán las medidas que no varían durante el movimiento del mecanismo del sólido botonera.



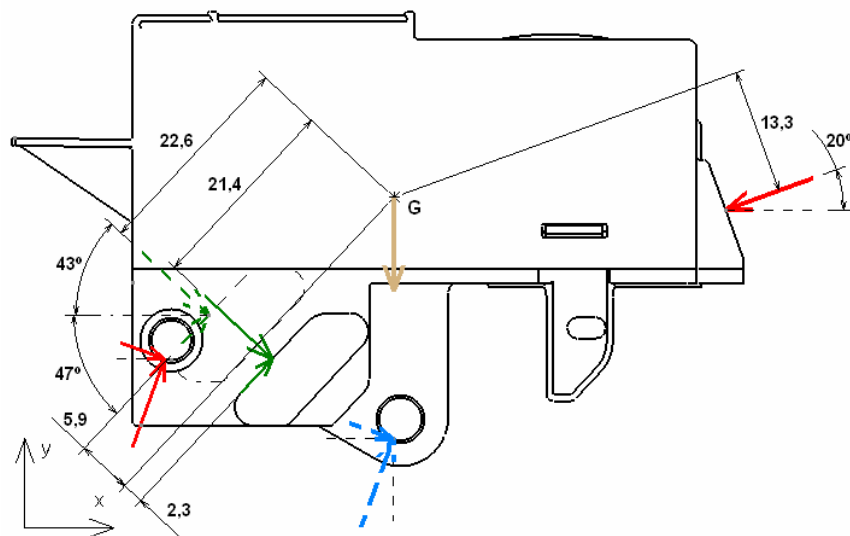


FIG.3.5. Medidas fijas botonera con F_{e1} y F_{e2} hacia delante

Como se puede observar las fuerzas F_{e2} y F_{BM} están representadas con líneas discontinuas ya que se encuentran en el lado opuesto de la botonera. En la siguiente figura se presenta la vista superior de la botonera donde se podrá observar la posición de las fuerzas respecto al eje Z.

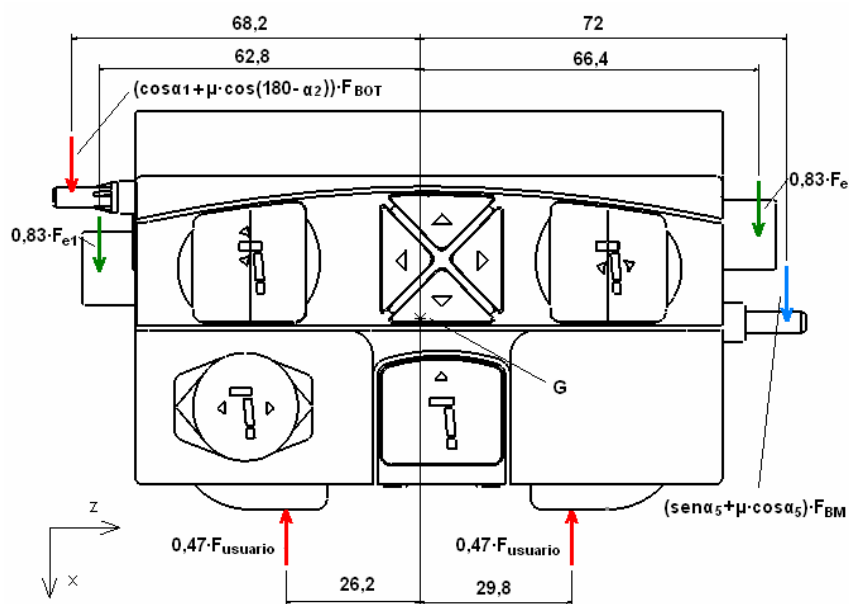


FIG.3.6. Vista superior de la botonera



Entonces las ecuaciones de equilibrio del sistema botonera son:

$$\Sigma F_h = 0 \rightarrow$$

$$(\mu \cdot \cos(180 - \alpha_2) + \cos \alpha_1) \cdot F_{BOT} + 0,83 \cdot (F_{e1} + F_{e2}) + (\mu \cdot \cos \alpha_5 + \operatorname{sen} \alpha_5) \cdot F_{BM} - 0,94 \cdot F_{usuario} = 0 \quad (\text{Ec. 3.4})$$

$$\Sigma F_v = 0 \rightarrow$$

$$(\operatorname{sen} \alpha_1 - \mu \cdot \operatorname{sen}(180 - \alpha_2)) \cdot F_{BOT} - 0,57(F_{e1} + F_{e2}) + (\cos \alpha_5 - \mu \cdot \operatorname{sen} \alpha_5) \cdot F_{BM} - P - 0,34 F_{usuario} = 0 \quad (\text{Ec. 3.5})$$

$$\Sigma M_z(G) = 0 \rightarrow -21,7F_{e1} - 21,7F_{e2} + 13,3F_{usuario} - (\mu d_5 + d_6) \cdot F_{BM} + (d_4 - \mu d_3) F_{BOT} = 0 \quad (\text{Ec. 3.6})$$

$$\Sigma M_y(G) = 0 \rightarrow$$

$$-52,1F_{e1} + 55,1F_{e2} - 1,8F_{usuario} - 68,8F_{BOT}(\cos \alpha_1 + \mu \cos(180 - \alpha_2)) + 72F_{BM}(\operatorname{sen} \alpha_5 + \mu \cos \alpha_5) = 0 \quad (\text{Ec. 3.7})$$

3.2.2. (CASO B). Fuerza F_{e1} invertida

En este caso la fuerza F_{e1} está aplicada sobre la cara contraria del soporte de la botonera del lado derecho tal como se puede observar en la siguiente figura:

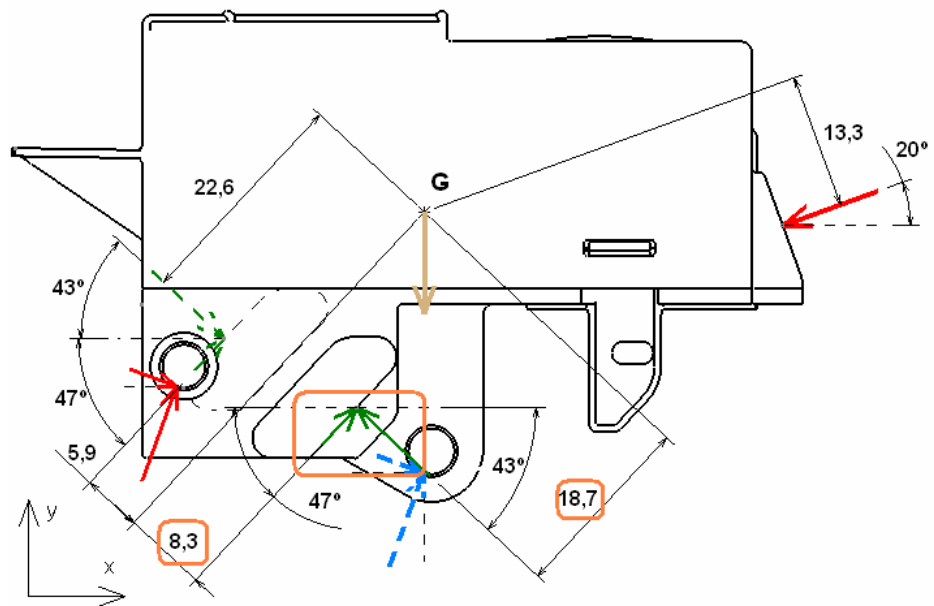


FIG.3.7. Vista lateral de la botonera con F_{e1} cambiada de cara del soporte

Tal como se puede observar las demás fuerzas permanecen igual que en el CASO A. A continuación se presenta también la vista superior de esta nueva configuración de las fuerzas.



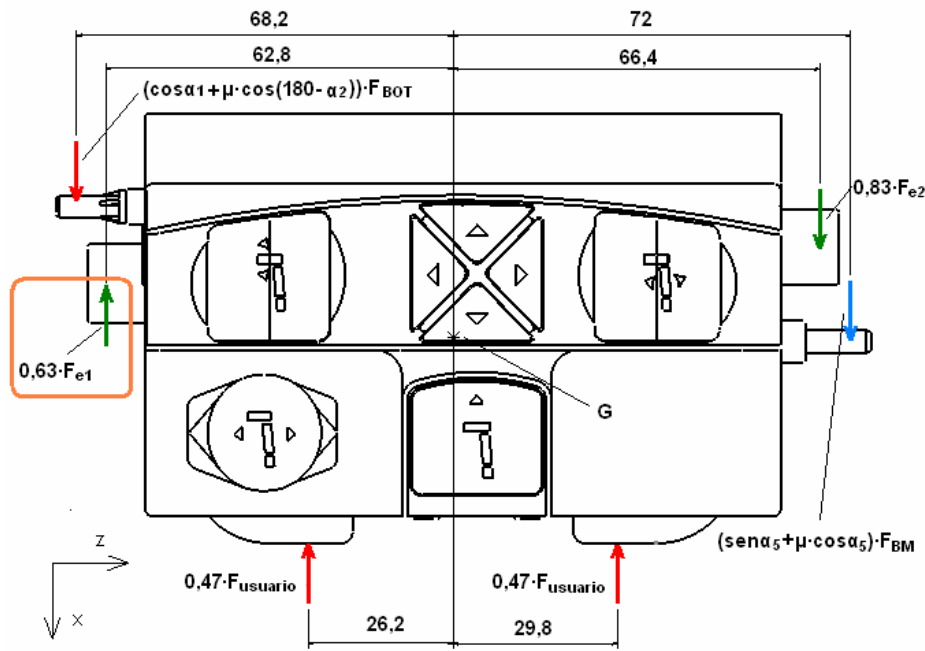


FIG.3.8. Vista superior de la botonera con Fe1 cambiada de cara del soporte

Al cambiar F_{e1} también cambian las expresiones de equilibrio de cada posición quedando de la siguiente manera.

$$\Sigma F_h = 0 \rightarrow$$

$$(\mu \cos(180 - \alpha_2) + \cos \alpha_1) \cdot F_{BOT} - 0,63 F_{e1} + 0,83 F_{e2} + (\mu \cos \alpha_5 + \text{sen} \alpha_5) \cdot F_{BM} - 0,94 F_{usuario} = 0 \quad (\text{Ec. 3.8})$$

$$\Sigma F_v = 0 \rightarrow$$

$$(\text{sen} \alpha_1 - \mu \text{sen}(180 - \alpha_2)) \cdot F_{BOT} + 0,8 F_{e1} - 0,57 F_{e2} + (\cos \alpha_5 - \mu \text{sen} \alpha_5) \cdot F_{BM} - P - 0,34 F_{usuario} = 0 \quad (\text{Ec. 3.9})$$

$$\Sigma M_z(G) = 0 \rightarrow 19,8 F_{e1} - 21,7 F_{e2} + 13,3 F_{usuario} - (\mu d_5 + d_6) \cdot F_{BM} + (d_4 - \mu d_3) F_{BOT} = 0 \quad (\text{Ec. 3.10})$$

$$\Sigma M_y(G) = 0 \rightarrow$$

$$39,6 F_{e1} + 55,1 F_{e2} - 1,8 F_{usuario} - 68,8 F_{BOT} (\cos \alpha_1 + \mu \cos(180 - \alpha_2)) + 72 F_{BM} (\text{sen} \alpha_5 + \mu \cos \alpha_5) = 0 \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Se aplicará este sistema de ecuaciones solo si al aplicar el primero se obtiene una $F_{e1} < 0$.



3.2.3. (CASO B). Fuerza F_{e2} invertida

En el caso que la fuerza F_{e2} esté aplicada en la cara contraria de su correspondiente soporte quedará un diagrama de fuerzas tal como éste:

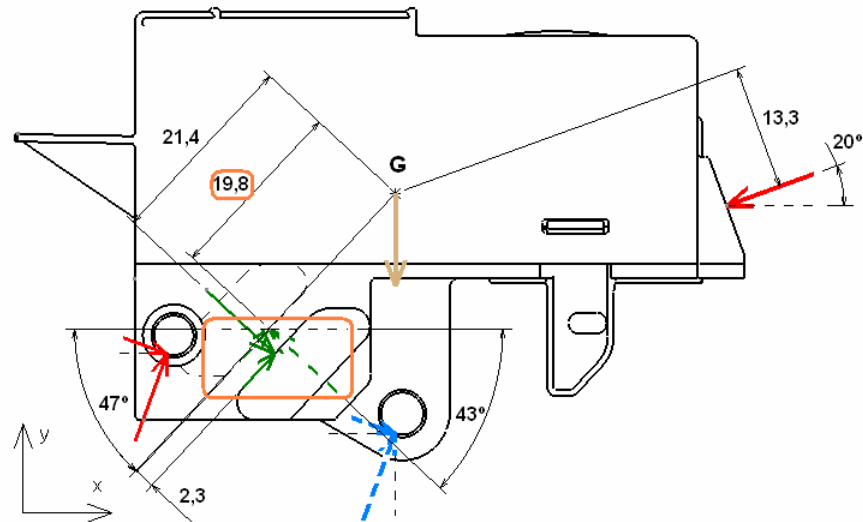


FIG.3.9. Diagrama de fuerzas con F_{e2} en la cara contraria del soporte

Quedando distribuidas las fuerzas en el eje x según la siguiente vista superior (plano xz):

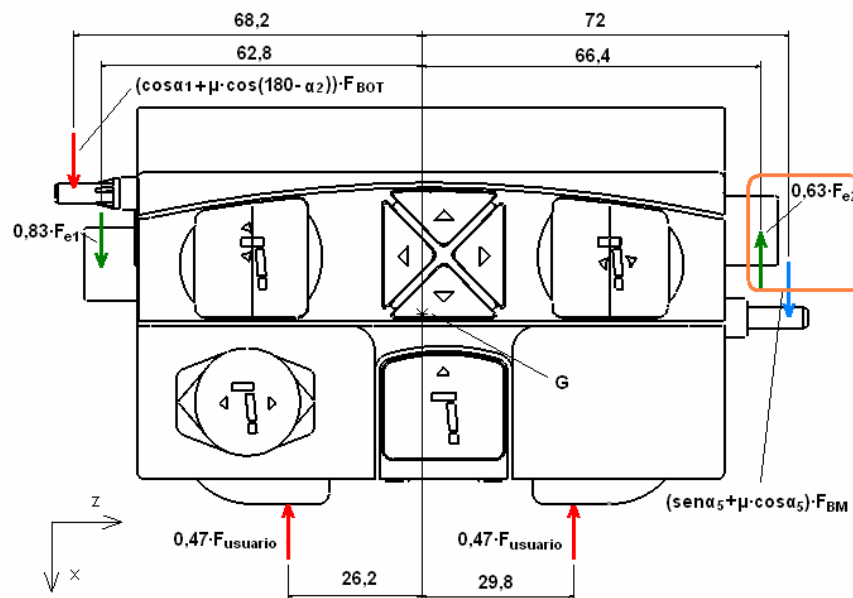


FIG.3.10. Vista superior de la botonera con F_{e2} aplicada en la cara contraria del soporte



Las condiciones de equilibrio estático para esta configuración quedan:

$$\Sigma F_h = 0 \rightarrow (\mu \cos(180 - \alpha_2) + \cos \alpha_1) \cdot F_{BOT} + 0,83F_{e1} - 0,63F_{e2} + (\mu \cos \alpha_5 + \sin \alpha_5) \cdot F_{BM} - 0,94 \cdot F_{usuario} = 0 \quad (\text{Ec. 3.12})$$

$$\Sigma F_v = 0 \rightarrow (\sin \alpha_1 - \mu \sin(180 - \alpha_2)) \cdot F_{BOT} - 0,57F_{e1} + 0,8F_{e2} + (\cos \alpha_5 - \mu \sin \alpha_5) \cdot F_{BM} - P - 0,34 \cdot F_{usuario} = 0 \quad (\text{Ec. 3.13})$$

$$\Sigma M_z(G) = 0 \rightarrow -21,7F_{e1} + 19,8F_{e2} + 13,3F_{usuario} - (\mu d_5 + d_6) \cdot F_{BM} + (d_4 - \mu d_3) F_{BOT} = 0 \quad (\text{Ec. 3.14})$$

$$\Sigma M_y(G) = 0 \rightarrow -52,1F_{e1} - 41,9F_{e2} - 1,8F_{usuario} - 68,8F_{BOT}(\cos \alpha_1 + \mu \cos(180 - \alpha_2)) + 72F_{BM}(\sin \alpha_5 + \mu \cos \alpha_5) = 0 \quad (\text{Ec. 3.15})$$

Este sistema de ecuaciones solo se aplicará en los casos en que en el cálculo del caso A resulte una $F_{e2} < 0$.

3.3. Dimensionado del muelle del mecanismo 1

Como ya se ha mencionado antes en el retorno a la posición inicial del mecanismo el usuario deberá aplicar una fuerza a la botonera durante todo este movimiento. Dicha fuerza está en función del momento que ejerce el muelle a la manivela del mecanismo 1 así como de la geometría del mecanismo en cada posición.

Debido a la configuración del mecanismo el tipo de muelle elegido para desarrollar esta función es uno helicoidal a torsión. El comportamiento de este tipo de muelle viene descrito por la siguiente expresión:

$$M_{muelle} = K_{\theta} \cdot (\theta + \theta_o) \quad (\text{Ec. 3.16})$$

Donde:

- (1) M_{muelle} [N·mm]. Es el momento que ejerce el muelle.
- (2) K_{θ} [N·mm/rad]. Es la rigidez torsional del muelle.
- (3) Θ [rad]. Es el ángulo de compresión del muelle.



(4) Θ_o [rad]. Es el ángulo de pre-compresión del muelle en su posición de trabajo.

Entonces para definir el muelle se deberá calcular K_θ y Θ_o . Para ello se deberán seleccionar dos posiciones del mecanismo e imponer una fuerza del usuario a cada una. En el plano E001 se pueden observar todas las posiciones del mecanismo consideradas para llevar a cabo este cálculo. Las posiciones elegidas así como las fuerzas impuestas son:

(1) POSICION 19 (final). Fuerza usuario = 3,5N

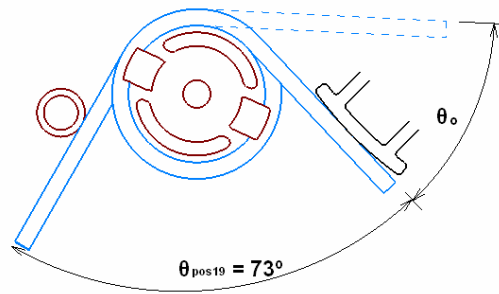


FIG.3.11. Muelle en la posición 19 (fin de recorrido)

En esta posición el muelle estará pre-comprimido un ángulo Θ_o siendo el momento que ejerce sobre la manivela igual a:

$$M_{muelle_pos19} = K_\theta \cdot \theta_o \quad (\text{Ec. 3.17})$$

(2) POSICION 0 (inicial). Fuerza usuario = 6,5N

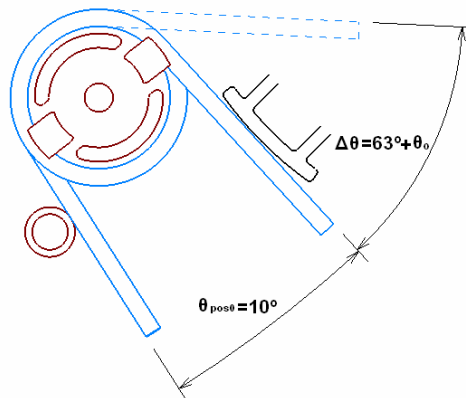


FIG.3.12. Configuración muelle en posición 0



Imponiendo la ecuación que describe el momento del muelle respecto al ángulo:

$$M_{muelle_pos\ 0} = K_{\theta} \cdot (\theta_o + (63^{\circ} \cdot \pi / 180)) \quad (\text{Ec. 3.18})$$

De las expresiones anterior se deduce la genérica a aplicar en cada posición para obtener el momento que ejerce el muelle:

$$M_{muelle_posi} = K_{\theta} \cdot (\theta_o + ((\theta_{pos\ 19} - \theta_{posi}) \cdot \pi / 180)) \quad (\text{Ec. 3.19})$$

Una vez planteadas estas dos ecuaciones de estos dos estados solo es necesario calcular los momentos necesarios que debe ejercer el muelle para vencer a las fuerzas de los usuarios impuestas. Para calcular estos momentos se plantea el equilibrio estático en el sistema botonera mediante las ecuaciones (Ec.3.4.), (Ec.3.5.), (Ec.3.6.) y (Ec.3.7.) quedando como incógnitas F_{e1} , F_{e2} , F_{bm} y F_{bot} . De este modo se tienen dos sistemas de cuatro ecuaciones y cuatro incógnitas y por lo tanto los valores de las variables en ambos puntos del movimiento del mecanismo.

El siguiente paso es imponer la fuerza de la botonera obtenida en cada posición al sistema del mecanismo 1 (Ec.3.1.), (Ec.3.2.) y (Ec.3.3.) para obtener así el momento del muelle y las demás incógnitas que describen la posición.

Para realizar todos los cálculos que se acaban de exponer se deben obtener del 3D las diferentes distancias y ángulos expuestos en las figuras 3.1. y 3.4. En estas posiciones las medidas tomadas son:

MECANISMO 1 (sist. Manivela)							
Pos.	D _o (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	α ₁ (°)	α ₂ (°)	α ₃ (°)	α ₄ (°)
0	-2,15	28,8	8	83	-173	32,4	37,9
19	2,15	26	4,9	20,5	69,5	-29,8	47,2

TABLA 3.1. Medidas en Mecanismo 1 de pos.0 y pos.19



BOTONERA					
Pos.	D ₃ (mm)	d ₄ (mm)	d ₅ (mm)	d ₆ (mm)	α ₅ (°)
0	20,2	21,5	14,2	20,4	58
19	-29,6	-6	25,9	2,5	4,6

TABLA 3.2. Medidas en botonera de pos.0 y pos.19

Si se resuelven los sistemas de ecuaciones tal como se ha expuesto con los valores de las tablas anteriores se obtiene:

Pos.	MECANISMO 1				BOTONERA				
	F _{BOT} (N)	R _x (N)	R _y (N)	M _{muelle} (N·mm)	F _{e1} (N)	F _{e2} (N)	F _{us} (N)	F _{BM} (N)	Sentido F _{enlace}
0	2,6	2,1	13,1	104,3	2,1	4	6,5	3,6	CASO (B)
19	1,7	10,7	-3,6	75	3	4	3,5	1,5	CASO (B)

TABLA 3.4. Fuerzas de los sistemas mecanismo 1 y manivela en pos.0 y pos.19

Introduciendo a las ecuaciones 3.17 y 3.18 los valores obtenidos de M_{muelle} y resolviendo el sistema se obtienen los valores de θ₀ y K_θ.

- K_θ= 26,6 N·mm/rad y θ₀= 2,8 rad =160,4°

Una vez encontradas las características que describen el comportamiento del muelle este se debe dimensionar y elegir el material. Para este muelle se ha elegido un acero patentado y estirado según la norma DIN 17223.

Por otro lado para dimensionar este muelle se han utilizado las expresiones del método expuesto en el capítulo 2.4 del libro '*Disseny i càlcul de molles*' de Edicions U.P.C.. en la pg. 48 De esta publicación se ha extraído la siguiente expresión para relacionar la rigidez del muelle con sus parámetros geométricos:

$$K_{\theta} = \frac{d^4 \cdot E}{64 \cdot D \cdot N} \quad (\text{Ec. 3.20})$$



Donde:

- K_θ [N·mm/rad]: Rigidez torsional
- d [mm]: Diámetro de hilo
- D [mm]: Diámetro de espira
- N : Número de espiras
- E [MPa]: Módulo de Young. En este caso con el material elegido es $210 \cdot 10^3$ MPa.

Con el valor de K_θ encontrado y utilizando un método iterativo se ha llegado a la siguiente solución:

- $D = 14\text{mm}$ (diámetro de espira)
- $d = 1\text{mm}$ (diámetro de hilo)
- $N = 9$ (número de espiras)
- $L = 12\text{ mm}$ (longitud del muelle)

3.4. Cálculo de la evolución de la fuerza del usuario durante la bajada

En este apartado se acabarán de calcular todas las fuerzas en las demás posiciones así como comprobar que el esfuerzo que debe ejercer el usuario es el deseado. Para ello se utilizará el siguiente método:

- (1) Cálculo del momento y la fuerza que ejerce el muelle en cada posición. Para ello se utilizará la expresión del apartado anterior (Ec.3.19.) de la cual se deducirá el momento del muelle. Para calcular la fuerza del muelle solo se deberá dividir dicho momento entre la distancia 6,1.
- (2) Seguidamente se calcularán utilizando la F_{muelle} obtenida en el punto anterior las fuerzas que describen el estado del mecanismo 1 en esta posición. Para ello se utilizarán las expresiones (Ec.3.1), (Ec.3.2.) y (E.c.3.3.) montando así un sistema de 3 ecuaciones y 3 incógnitas (R_x , R_y y F_{BOT})
- (3) A continuación se deben resolver las ecuaciones del sistema botonera (Ec.3.4.), (Ec.3.5.), (E.c.3.6.) y (Ec.3.7.) utilizando el valor de F_{BOT} obtenido en el apartado



anterior. En este sistema se tienen cuatro ecuaciones y cuatro incógnitas: F_{e1} , F_{e2} , F_{usuario} y F_{BM} .

Nota: Si cuando se resuelve el sistema se obtiene una $F_{e1} < 0$ se deben aplicar las ecuaciones del caso B (Ec.3.8.), (Ec.3.9.), (Ec.3.10.) y (Ec.3.11.) expuestas en el anterior capítulo. Si por lo contrario es la fuerza F_{e2} la que sale negativa se debe aplicar el caso C, es decir, las ecuaciones (Ec.3.12.), (Ec.3.13.), (Ec.3.14.) y (Ec.3.15.).

A parte de las ecuaciones será necesario medir en cada posición las dimensiones y ángulos necesarios para aplicar a las expresiones. En las tablas se 3.4. y 3.5. se encuentran recogidas las diferentes medidas tomadas directamente del 3D en las configuraciones correspondientes a las posiciones especificadas en los planos E001 y E002.

También se presentan en la tabla 3.6 los resultados obtenidos al aplicar los datos recogidos en las tablas 3.4. y 3.5. a la metodología expuesta anteriormente en este apartado.



MECANISMO 1 (sist. Manivela)								
Pos.	D _o (mm)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	α_1 (°)	α_2 (°)	α_3 (°)	α_4 (°)	$\theta_{pos i}$ (°)
0	-2,15	28,8	8	83	-173	32,4	37,9	10
1	-2,15	27,8	8,2	79,7	-169,7	29,4	-9,7	13,8
2	-2,15	26,9	8,2	76,4	-166,4	26,6	33,6	17,1
3	-2,15	26	8,1	73,1	-163,1	22,8	36,9	20,4
4	-2,15	25,3	8,3	69,8	-159,8	19,6	40,2	23,7
5	-2,15	24,8	8,1	66,5	-156,5	16,2	43,5	27
6	-2,15	24,3	7,9	63,2	-153,2	12,9	46,8	30,3
7	-2,15	24	7,8	59,9	-149,9	9,6	39,5	33,6
8	-2,15	23,7	7,7	56,6	-146,6	6,3	42,8	36,9
9	-2,15	23,5	7,5	53,3	-143,3	3	46,1	40,2
10	-2,15	23,4	7,3	50	-140	0	38,8	43,5
11	2,15	23,3	7,1	46,4	43,6	-3,9	42,4	47,1
12	2,15	23,4	6,8	43,1	46,9	-7,2	45,7	50,4
13	2,15	23,5	6,6	40,1	49,9	-10,2	20,9	53,4
14	2,15	23,7	6,3	36,8	53,2	-13,5	41,4	56,7
15	2,15	24	6	33,5	56,5	-16,8	44,7	60
16	2,15	24,3	5,7	30,2	59,8	-20,1	48	63,3
17	2,15	24,8	5,3	26,9	63,1	-23,4	40,7	66,6
18	2,15	25,4	5	23,6	66,4	-26,7	40	69,9
19	2,15	26	4,9	20,5	69,5	-29,8	47,2	73

TABLA 3.4.. Medidas mecanismo 1 en posiciones de bajada



BOTONERA					
Pos.	D ₃ (mm)	d ₄ (mm)	d ₅ (mm)	d ₆ (mm)	α ₅ (°)
0	20,2	21,5	14,2	20,4	58
1	21,3	20,6	16,2	19,1	52,1
2	22,5	19,4	19,3	16,3	42,1
3	23,5	18,2	25,5	3,9	7,9
4	24,6	20	25,4	-4,8	-13,5
5	25,5	15,6	24,9	-6,7	-18,2
6	26,2	14,4	24,4	-8,2	-22
7	27,1	12,8	23,9	-9,3	-25
8	27,8	11,4	23,5	-10,2	-27,3
9	28,4	9,4	23,2	-10,3	-29,3
10	28,9	8,4	23,9	-9,5	-25,5
11	-29,7	5,3	25	-6,3	-17,2
12	-28,4	9,9	23,1	-10,9	-29,3
13	-30	3,6	25,8	-0,5	-3
14	-30,1	2	25,7	2,7	4,8
15	-25	0,4	25	6,2	13,6
16	-30,2	-1,2	24,9	6,8	15
17	-30,1	-2,9	25,3	5,2	11,1
18	-29,9	-4,5	25,6	3,7	7,4
19	-29,6	-6	25,9	2,5	4,6

TABLA 3.5. Medidas de botonera en movimiento bajada



Pos	MECANISMO 1				BOTONERA				
	F_{BOT} (N)	R_X (N)	R_Y (N)	F_{Muelle} (N)	F_{e1} (N)	F_{e2} (N)	F_{us} (N)	F_{BM} (N)	CASO
0	2,6	2,1	13,1	17,1	2,1	4	6,5	3,6	B
1	2,7	13,3	10,4	16,7	3	1	7,1	4,5	A
2	2,6	13,1	11,2	16,5	3,9	0,9	7,1	4,5	C
3	2,6	14,4	10,1	16,2	1,1	4,4	7,5	4,6	A
4	2,7	9	9	15,9	1,6	3,8	5,7	3,8	A
5	2,7	15	6	15,7	1,2	4,5	5,5	6,2	A
6	2,7	15,3	7,3	15,6	2	5,4	7	4,6	A
7	2,6	14,9	5,9	15,2	0,8	4,4	5,1	4	A
8	2,6	14,9	5,1	15	0,8	4,6	5,2	4	A
9	2,6	15	4,1	14,7	0,3	4,8	4,9	4,3	A
10	2,5	14,6	3,1	14,4	0,2	4,1	4,7	3,7	A
11	2,4	14	4,4	14,2	1	3,5	4,9	3,4	A
12	2,3	12,1	2,1	13,9	1,3	3	5,2	3,6	A
13	2,3	12,9	-0,1	13,7	0,8	2,4	4,7	2,9	A
14	2,2	13	0,1	13,4	0,8	2	4,8	2,9	A
15	2,1	12,6	6,8	13,2	0,7	1,4	4,6	2,7	A
16	2	12,2	-1,5	12,9	0,7	1,3	4,7	2,9	A
17	1,9	11,6	-2,5	12,7	0,1	1,2	3,7	2,7	A
18	1,8	10,9	-3,2	12,4	0,1	1,3	3,5	2,2	A
19	1,7	10,7	-3,6	12,3	3	4	3,5	1,5	B

TABLA .3.6. Fuerzas resultantes en cada posición



Tal como se puede observar en la tabla anterior la fuerza del usuario va fluctuando entre 3,5N y 7,5N cosa que implica que se cumple el rango de fuerzas que se planteó al principio de este apartado y por lo tanto que el muelle está correctamente dimensionado. En el siguiente gráfico se puede observar la evolución de esta fuerza a lo largo del movimiento de bajada.

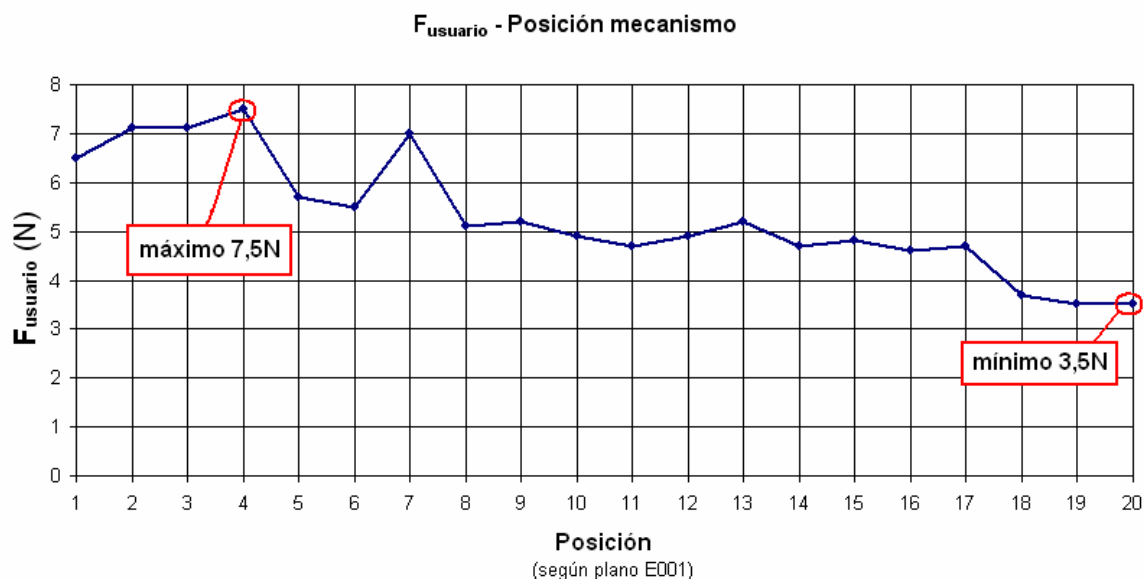


FIG. 3.13. Gráfico F_{usuario} – Posición mecanismo



4. CALCULO DE FUERZAS DE ENSAMBLAJE

Durante el ensamblaje de diversos componentes del dispositivo se deforman uno o más enganches de plástico que recuperarán su posición inicial al acabar el proceso de ensamblaje como si de un muelle se tratara. En la siguiente figura se ilustra este tipo de fijaciones

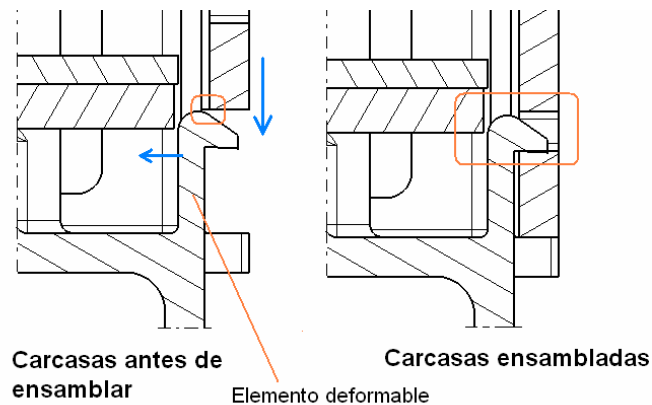


FIG.4.1. Clips de las carcasas

Para calcular el esfuerzo que hay que ejercer entre las dos piezas para conseguir alojar los elementos deformables en su correspondiente alojamiento se ha asimilado cada clip a una lámina en voladizo encastada por un extremo. A su vez su comportamiento se puede asimilar a un muelle y mediante unas determinadas expresiones se puede relacionar su flecha o deformación en un punto con la fuerza aplicada. En este caso se conoce la deformación necesaria para la introducción del clip en su correspondiente alojamiento y de este modo se puede obtener la fuerza de ensamblaje aproximada que se deberá realizar durante el proceso de montaje. En la siguiente imagen se puede observar un esquema de dicha teoría.

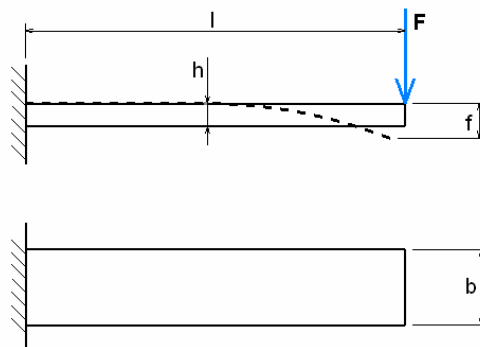


FIG. 4.2. Diagrama de una lámina encastada



Donde:

$$f = \frac{4 \cdot l^3 \cdot F}{b \cdot h^3 \cdot E} \quad (\text{Ec. 4.1.})$$

En la que E es el módulo de Young que para el material de las carcasas tiene un valor aproximado de 1400N/mm^2 .

La expresión anterior está extraída de la tabla 29.6 de la página 226 del apartado de muelles del libro MÁQUINAS. PRONTUARIO escrito por N.Larburu.

Entonces utilizando la expresión anterior se puede deducir fácilmente es esfuerzo de ensamblaje de los diferentes componentes.

4.1. Ensamblaje en las carcasas de la botonera

La unión de estos dos componentes está realizador por cuatro clips como los que se observan en la siguiente figura.

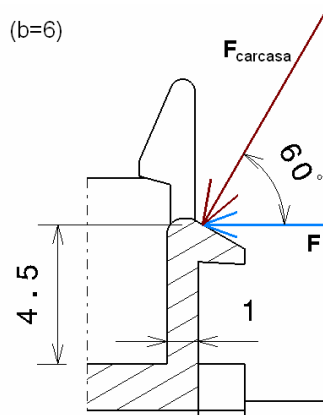


FIG. 4.3. Clip carcasa inferior botonera

De la geometría de la carcasa superior se deduce que para hacer el ensamblaje hace falta deformar el clip $1,1\text{mm}$, es decir, $f=1,1\text{mm}$. Aplicando la ecuación 4.1. a los valores de la figura anterior se obtiene que la fuerza $F=25,3\text{N}$. Aplicando relaciones trigonométricas se obtiene el valor que ejerce la carcasa sobre el clip, que en este caso es igual a $48,6\text{N}$.

El operario ejercerá una fuerza perpendicular al clip para montar la carcasa y por lo tanto la fuerza que deberá ejercer sobre la carcasa será mayor que la fuerza que ejerce ésta sobre el clip según la siguiente expresión:



$$F_{montaje} = \text{Número_clips} \cdot \frac{F_{carcasa}}{\text{sen } \alpha} \quad (\text{Ec. 4.2.})$$

donde:

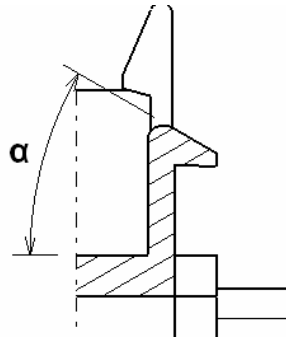


FIG. 4.4. Ángulo α

Aplicando la expresión anterior a este caso queda que el operario para ensamblar estas dos carcasas deberá ejercer aproximadamente 225N.

Aunque este esfuerzo a simple vista parece excesivo el montaje es viable si se hace un premontaje de las carcasas y se acaban de encajar los clips mediante unos impactos ayudado con un mazo de goma.

4.2. Ensamblaje de las carcasas del dispositivo

La unión entre estos dos componentes se realiza mediante 8 clips como el de la siguiente figura:

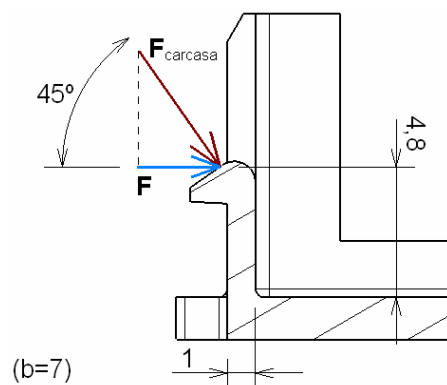


Fig.4.5. Clip de unión entre carcasas del dispositivo



Si se aplican las expresiones del apartado anterior a los nuevos valores se obtiene que $F_{\text{carcasa}} = 22,1\text{N}$ y que $F_{\text{montaje}} = 309\text{N}$.

De nuevo el esfuerzo que deber realizar el operario para el montaje de esta carcasa no es excesivamente alto si este se ayuda de un mazo de goma o un útil similar.



5. PROCESO PRODUCTIVO

En el apartado 6 de la memoria se han enumerado y descrito los diferentes componentes que forman este dispositivo además de diferenciar los productos de compra de los de fabricación propia. Seguidamente en el apartado 7 se ha descrito paso a paso el montaje de todos los componentes hasta llegar al dispositivo final montado.

En este apartado se acabará de describir el proceso de producción del dispositivo desde la entrada de material hasta que el dispositivo está empaquetado y listo para transportar ha donde el cliente requiera. Para ello se definirá la maquinaria necesaria para el montaje y los diferentes test's a los que este dispositivo será sometido. Por otro lado se calculará el número de máquinas y bancadas necesario para poder en el apartado siguiente realizar una calculación del coste de producción de este dispositivo teniendo en cuenta la producción anual establecida.

Primero de todo se presenta un diagrama de bloques donde queda definido a grandes rasgos el proceso de producción completo.

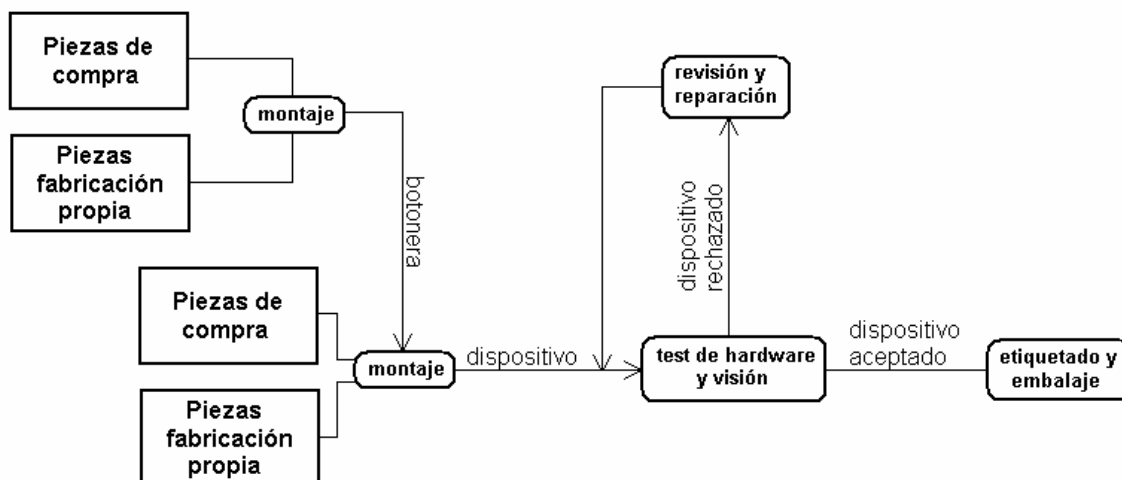


FIG.5.1. Diagrama de producción del dispositivo

En los siguientes apartados se estudiarán con más detalle los procesos enumerados así como la maquinaria necesaria para fabricar este dispositivo.



5.1. Proceso de fabricación de las piezas

En el apartado 6 de la memoria se ha expuesto el proceso de fabricación de las diferentes piezas que conforman este mecatrónico.

Por un lado se tienen los diferentes PCB's en cuyo proceso de fabricación no se va a entrar en más detalle que el visto en el apartado 6.1.6. de la memoria. Hay que destacar que en Lear Corporation donde se está estudiando la implantación del proceso productivo del dispositivo tienen en planta ya la maquinaria necesaria para la manufacturación de estas piezas además de capacidad productiva de sobra como para suponer que la fabricación de estas placas electrónicas no supondrán ninguna inversión extra en infraestructura por parte de la empresa.

Por otro lado está la manufacturación de las diferentes piezas de plástico enumeradas en la memoria cuya totalidad está fabricada mediante el proceso de inyección de plástico en molde. De nuevo en la empresa donde se va a implantar el proceso productivo de este dispositivo dispone de recursos suficientes en lo que se refiere a inyectoras de plástico como para producir la totalidad de piezas usando un solo molde de cada. La distribución de las cavidades de los moldes está detallada en el apartado 6 de la memoria y el coste estimado de cada uno en el siguiente apartado de este anexo correspondiente a la calculación del coste de producción unitario.

Como se ha visto en el apartado de manufacturación de los botones estos después de ser moldeados son sometidos a un proceso de pintado y laserado cuyas máquinas deben ser adquiridas y por lo tanto representan una inversión que grabará directamente sobre el precio pieza del dispositivo. En el siguiente apartado se definirá con más detalle este proceso y se calculará la inversión total necesaria para llevar a cabo este proceso de acabado de estas piezas.

5.1.1 Proceso de pintado y laserado de los botones

En este apartado se realizará un estudio de capacidad productiva de la máquina encargada de realizar esta función y posteriormente se calculará la inversión necesaria para implantar este proceso en esta planta productiva. Debido a temas de confidencialidad de la empresa donde se va a producir este dispositivo no se dispone de los modelos de las unidades que realizarán cada función pero sí se dispone de los tiempos de ciclo de las diferentes operaciones así como el coste de las diferentes unidades y de los complementos necesarios para llevar a cabo esta operación secundaria. Por lo tanto se podrá llevar a cabo una estimación de la inversión necesaria.



Las máquinas encargadas de realizar este proceso tienen varias unidades donde cada una realiza una función determinada. En la siguiente tabla se puede observar el diagrama de bloques de este proceso.

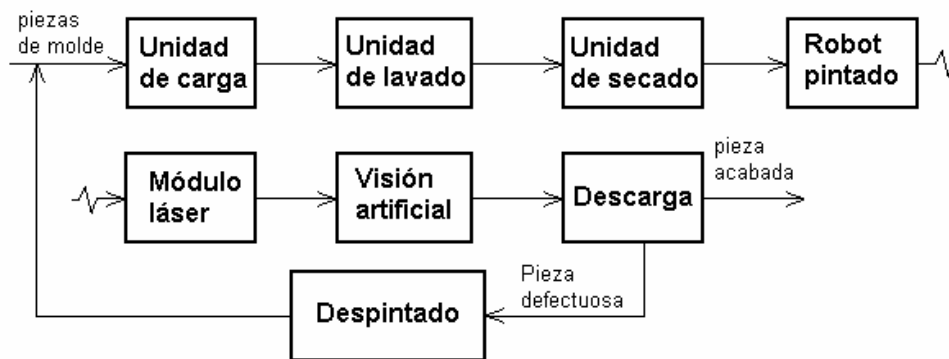


FIG.5.2. Diagrama del proceso de pintado y laserado de los botones

Seguidamente se presentan unas aclaraciones de este proceso:

- (1) La carga se realiza en unas bandejas específicas para cada modelo de botón en las cuales se puede cargar una totalidad de 8 unidades.
- (2) Esta máquina tiene un rendimiento aproximado de un 85%, por lo tanto el tiempo de trabajo posible en un año es: $220\text{días} \times 23\text{horas/día} \times 0,85 = 4301$ horas de trabajo anuales.
- (3) Cada botonera tiene 9 modelos de botones diferentes y se prevé una producción anual de 30.000 dispositivos, por lo tanto esta instalación debe ser capaz de procesar 270.000 botones/año.
- (4) La unidad de tiempo elegida para realizar este estudio es representada mediante el siguiente símbolo (⁰⁰) y su equivalencia es: $10.000^{00} = 1\text{h}$

La experiencia con esta maquinaria ha llevado a elaborar la siguiente tabla con los tiempos de operación estimados para este proceso. Con estos tiempos se puede calcular el tiempo unitario necesario para cada unidad y la saturación de esta maquinaria con la cual se obtendrá el número de líneas necesario para realizar este proceso.



Operación	Unitario	Tiempo
POSICIONAR PIEZA SOBRE BANDEJA	8	64 ⁰⁰
LAVADO DE PIEZA	8	64 ⁰⁰
SECADO DE PIEZA	8	64 ⁰⁰
ROBOT PINTADO PIEZA	16	128 ⁰⁰
LASERADO DE PIEZA	32	256 ⁰⁰
VISIÓN ARTIFICIAL	8	64 ⁰⁰
EVACUAR PIEZA	8	64 ⁰⁰
	Total	704 ⁰⁰
	Unitario pieza	88 ⁰⁰

TABLA 5.1. Tiempos de operación del proceso de laserado y pintado

Como se puede observar en la tabla anterior el tiempo necesario para realizar este proceso a un botón es aproximadamente 88⁰⁰. Teniendo en cuenta que anualmente se disponen de 4301 horas de máquina por línea y que la producción es de 270.000 unidades y la expresión de la saturación de una línea de producción es:

$$\text{Saturación} = \frac{\text{Tiempo}_{\text{necesario}} \cdot \text{producción}}{\text{Tiempo}_{\text{máquina}} \cdot \text{disponible}} \quad (\text{Ec. 5.1.})$$

Aplicando la expresión anterior a esta parte del proceso productivo se obtiene una saturación igual al 55% cosa que implica que solo será necesaria una línea de pintado y laserado y que esta estará cerca del 50% de su capacidad productiva. Este exceso de capacidad productiva puede ser aprovechado para procesar piezas de otros dispositivos en producción disminuyendo así el coste fijo en forma de inversión que supone la implantación de esta línea pudiendo hacer una rebaja en el precio al cliente. De todos modos para la realización de la calculación del coste unitario por pieza se considerará que este proyecto absorbe toda la inversión.

También se dispone de los datos del coste de la maquinaria y de los útiles específicos de cada pieza tal como se expresan en la siguiente tabla.



INVERSIONES GENERICAS	UNIDADES	COSTE UNITARIO (€)	COSTE TOTAL (€)
UNIDAD DE LAVADO DE PIEZAS	1	47.500	47.500
UNIDAD DE SECADO DE PIEZAS	1	47.500	47.500
ROBOT PINTADO PIEZAS	1	85.000	85.000
MÓDULO LÁSER	2	60.000	120.000
PUESTO DE CARGA/DESCARGA	1	25.600	25.600
RETORNO	1	36.000	36.000
CODIFICADOR	1	43.273	43.273
CINTAS, SOPORTES, ETC...	1	12.000	12.000
INVERSIONES ESPECIFICAS PARTE	UNIDADES	COSTE UNITARIO (€)	COSTE TOTAL (€)
BANDEJA SOPORTE (24 bandejas para cada modelo de botón)	216	1.200	259.200
CARRO ALMACÉN BANDEJA (24 bandejas x carro)	9	600	54.000
PROGRAMAS DE INSERCIÓN	9	200	1.800
PUESTA EN MARCHA	1	6.000	6.000
INVERSIÓN TOTAL (€)			719.273

TABLA 5.2. Cálculo de inversiones de la línea de pintado

Tal como se puede ver la inversión total asciende a 719.273 euros. Esta está dividida en una parte correspondiente a maquinaria genérica que asciende a 446.873 euros y una parte para útiles y software específico del producto que asciende a 272.400 euros. Como en la mayoría de los casos se va a suponer que la empresa se hace cargo de la inversión fija y que el cliente se hará cargo de la inversión específicas que ascienden a 272.400 euros.

Este proyecto tiene una vida de 7 años cosa que implica que 1.890.000 botones serán sometidos a este proceso y teniendo en cuenta que la inversión total es de 446.873 euros el coste fijo añadido por pieza correspondiente a la inversión en maquinaria será de 0,24 euros.



Por otro lado se sabe que el coste del material (pintura, disolventes, agua, etc...) para cada pieza es 0,05 €/pza y que el coste asociado al proceso es aproximadamente 0,12 € el coste total aplicado a una pieza por someterse a este proceso asciende a un total de 0,41 €/pza.

También hay que destacar que en este proceso han intervenido activamente dos operarios uno a la entrada y otro a la salida de la línea. Por lo tanto al tiempo de mano de obra unitario habrá que añadir el tiempo de proceso por pieza obteniendo un total de 176⁰⁰.

5.1.2. Tabla del coste de fabricación y precio de compra de los componentes

En este apartado se calculará el coste total de los diferentes componentes necesarios para la fabricación de este dispositivo. Como ya se ha comentado antes este dispositivo está compuesto por piezas de compra y piezas de fabricación propia y todas tienen un coste asociado que grabará sobre el precio final del dispositivo. Para calcular el coste final de fabricación de este dispositivo se han elaborado las siguientes tablas la primera de las cuales enumera las piezas de compra y sus costes:

Componente	Cantidad	Coste unitario (€)	Coste total (€)
Membrana botonera	1	0,3	0,3
Membrana lumbar	1	0,4	0,4
Muelle	2	0,05	0,1
Damper	1	0,35	0,35
Membrana memorias	1	0,25	0,25
FFC	1	0,5	0,5
Tornillos	6	0,1	0,6
Grasa	25 gr	0,015 eur/gr.	0,375
Etiqueta	1	0,02	0,02
Embalaje (caja,bolsa, blister)	1	0,9	0,9
Total (€)			3,795

TABLA 5.3. Coste de las piezas de compra

Seguidamente se presenta la tabla con el coste de las piezas fabricadas en esta factoría pertenecientes a la botonera. Hay que destacar que todas se fabrican siguiendo un proceso



de inyección de plástico en molde. Para realizar el cálculo del coste de inyección se ha utilizado un software elaborado por Lear Corporation el cual tiene en cuenta el coste del material, el coste de mano de obra, el coste energético, etc..., es decir, da el coste final sin tener en cuenta los utillajes necesario de la fabricación de una pieza.

Pieza	Cantidad	Material	Coste inyección (€)	Coste procesos adicionales (€)	Coste unitario (€)	Coste total (€)
Carcasa superior	1	PA	0,22	0	0,22	0,22
Carcasa inferior	1	PA	0,2	0	0,2	0,2
Botón reclinar resp.	1	PC	0,012	0,41 (pintado+laserado)	0,422	0,422
Botón reclinar asiento	1	PC	0,012	0,41 (pintado+laserado)	0,422	0,422
Botón bajar asiento	1	PC	0,012	0,41 (pintado+laserado)	0,422	0,422
Botón subir asiento	1	PC	0,012	0,41 (pintado+laserado)	0,422	0,422
Botón mover asiento	1	PC	0,012	0,41 (pintado+laserado)	0,422	0,422
Actuador	1	POM	0,024	0	0,024	0,024
Slider	1	POM	0,049	0	0,049	0,049
Rocker	1	POM	0,03	0	0,03	0,03
Coste Total (€)						2,633

TABLA 5.4. Precio de fabricación de los componentes de la botonera

Tal y como se ha podido observar en la tabla anterior los botones después de ser moldeados serán sometidos a un proceso de pintado y laserado expuesto en el apartado anterior cosa que sumará a su coste de fabricación 0,41€.



A continuación se presentará la tabla equivalente para calcular los costes de fabricación de las demás piezas del dispositivo.

Pieza	Cantidad	Material	Coste inyección (€)	Coste procesos adicionales (€)	Coste unitario (€)	Coste total (€)
Carcasa frontal	1	PA	0,444	0	0,444	0,444
Carcasa interior	1	PA	0,285	0	0,285	0,285
Postizo 1	1	PBT	0,08	0	0,08	0,08
Postizo 2	1	PBT	0,08	0	0,08	0,08
Tapa	1	PBT	0,133	0	0,133	0,133
Manivela	1	PBT	0,046	0	0,046	0,046
Manivela guías	1	PBT	0,049	0	0,049	0,049
Casquillo	3	PBT	0,022	0	0,022	0,066
Retén casquillo	3	PA	0,022	0	0,022	0,066
Eje tapa	2	PBT	0,022	0	0,022	0,044
Botón memoria 1,2,3	3	PC	0,062	0,41 (pintado+laserado)	0,472	1,416
Eje	1	PBT	0,043	0	0,043	0,043
Guía botón abrir	1	PA	0,026	0	0,026	0,026
Botón abrir	1	PC	0,014	0,41 (pintado+laserado)	0,424	0,424
Corredera	1	PA	0,029	0	0,029	0,029
Total (€)						3,231

TABLA 5.5. Coste fabricación piezas del dispositivo



Finalmente se presenta a continuación la tabla donde se refleja el coste total de los componentes para la manufacturación de un dispositivo.

Concepto de coste	Coste (€)
Piezas de compra	3,795
Piezas de fabricación propia de la botonera	2,633
Piezas de fabricación propia del dispositivo	3,231
Total (€/dispositivo)	9,659

TABLA 5.6. Coste total componentes del dispositivo

Por último se hará un estudio de costes para calcular la inversión en moldes para fabricar las piezas enumeradas en las tablas 5.4 y 5.5 de este apartado.

El primer aspecto a tener en cuenta es la capacidad productiva del molde para comprobar si se podrán suministrar los dispositivos acordados con el cliente adquiriendo un solo juego de coquillas. Teniendo en cuenta que con un solo molde se pueden realizar aproximadamente 1.000.000 de inyecciones queda demostrado que durará durante toda la serie en la cual se fabricarán aproximadamente unos 270.000 dispositivos.

Por otro lado las máquinas de inyección trabajan a una velocidad nominal igual a 95 inyecciones hora que equivale a 480.000 inyecciones anuales. Si a este número se le aplica el rendimiento de la máquina que se ha considerado igual a un 85% se obtiene una capacidad productiva de 408.000 inyecciones anuales. Con esto queda comprobado que solo será necesario utilizar un molde de cada para la manufacturación del dispositivo durante la vida de este proyecto.

A continuación se presenta una tabla que recoge los moldes necesarios así como su coste aproximado para valorar la inversión económica necesaria para fabricar este dispositivo.



Molde	Cavidad 1	Cavidad 2	Cavidad 3	Cavidad 4	Coste(€)
MD01	Carcasa superior	-	-	-	25.000
MD02	Carcasa inferior	-	-	-	25.000
MD03	Botón recl. Resp.	Botón recl. Asiento	-	-	16.200
MD04	Botón bajar	Botón subir	Botón mover	-	16.200
MD05	Actuador	Actuador	Actuador	Actuador	12.000
MD06	Slider	Slider	-	-	12.000
MD07	Rocker	Rocker	-	-	12.000
MD08	Carcasa frontal	-	-	-	25.000
MD09	Carcasa interior	-	-	-	25.000
MD10	Postizo izq.	Postizo izq.	-	-	15.000
MD11	Postizo der.	Postizo der.	-	-	15.000
MD12	Tapa	-	-	-	16.200
MD13	Manivela muelle	Manivela muelle	-	-	12.000
MD14	Manivela guías	Manivela guías	-	-	12.000
MD15	Casquillo	Casquillo	Casquillo	Casquillo	12.000
MD16	Retén casquillo	Retén casquillo	Retén casquillo	Retén casquillo	12.000
MD17	Eje tapa	Eje tapa	Eje tapa	Eje tapa	10.300
MD18	Botón memoria 1	Botón memoria 2	Botón memoria 3	-	16.200
MD19	Eje	Eje	Eje	Eje	12.000
MD20	Guías b. Abrir	Guías b.abrir	Guías b.abrir	Guías b.abrir	12.000
MD21	Botón abrir	Botón abrir	-	-	16.200
MD22	Corredera	Corredera	Corredera	Corredera	12.000
Total (€)					341.300

TABLA 5.7. Distribución y coste de moldes



En la tabla anterior se ha podido ver la inversión en moldes que se deberá realizar al principio del proyecto. Si se considera que la empresa asume esta inversión con efectivo se puede calcular la parte de coste que le corresponde a cada dispositivo.

Como se ha mencionado antes se fabricarán 30.000 dispositivos anuales durante una vida aproximada del proyecto igual a 7 años. Por lo tanto al coste de cada dispositivo se le deberá sumar 1,63 euros.

5.2. Proceso de montaje

En este apartado se pretende acabar de definir el proceso de montaje calculando y definiendo el número de útiles necesario para el montaje del dispositivo así como calcular el coste del proceso para posteriormente utilizar estos datos para realizar la calculación del precio unitario del dispositivo.

5.2.1. Estudio del proceso de montaje de la botonera

Seguidamente se calculará el tiempo de montaje de la botonera siguiendo los pasos definidos en el apartado 7 de la memoria. Para ello se utilizarán tiempos estándar medidos en procesos productivos anteriores similares proporcionados por la empresa Lear Corporation.

Para facilitar los cálculos se utilizará la conversión de tiempo a la unidad (⁰⁰) donde $10.000^{00}=1$ hora.

Este ensamblaje se ha dividido en los tres siguientes procesos:

- (1) Ensamblaje subconjunto carcasa inferior
- (2) Ensamblaje subconjunto carcasa superior
- (3) Ensamblaje de los subconjuntos

Seguidamente se presentan tres tablas con el desglose de las operaciones de montaje de cada estadio del ensamblaje de la botonera.

La siguiente tabla recoge los diferentes pasos a realizar para montar el subconjunto correspondiente a la carcasa inferior además de los tiempos estimados de mano de obra que será necesario para llevarlo a cabo.



Núm. operación	Operación	Tiempo operación (⁰⁰)
1	Fijar carcasa a la bancada	20 ⁰⁰
2	Ensamblar botón subir asiento y engrasar 2 alojamientos carcasa inf.	35 ⁰⁰
3	Ensamblar PCB a carcasa inferior	68 ⁰⁰
4	Ensamblar membrana al PCB	35 ⁰⁰
5	Engrasar rocker y ensamblar rocker a carcasa inf. con útil	39 ⁰⁰
6	Ensamblar membrana lumbar a PCB	35 ⁰⁰
7	Engrasar guías carcasa inf. + montar actuador + engrasar actuador	54 ⁰⁰
8	Engrasar cavidad carcasa inferior y ensamblar eje con útil	32 ⁰⁰
9	Acoplar FFC a terminal del PCB	25 ⁰⁰
Total tiempo		343⁰⁰

TABLA 5.8. Cálculo tiempo montaje subconjunto carcasa inferior

Seguidamente se presenta el desglose del ensamblaje del conjunto de la carcasa superior.

Núm. Operación	Operación	Tiempo operación (⁰⁰)
1	Engrasar cuatro puntos apoyo de slider y botón mover asiento	60 ⁰⁰
2	Ensamblar slider, botón mover asiento y carcasa superior	25 ⁰⁰
3	Montar carcasa superior a bancada	20 ⁰⁰
4	Engrasar carcasa superior y montar botón reclinar respaldo	30 ⁰⁰
5	Engrasar carcasa superior y montar botón reclinar asiento	30 ⁰⁰
6	Montar botón bajar asiento	15 ⁰⁰
Total tiempo		180⁰⁰

TABLA 5.9. Cálculo tiempo montaje subconjunto carcasa superior



Y por último se analiza el proceso final de ensamblaje de la botonera.

Núm. Operación	Operación	Tiempo operación (⁰⁰)
1	Posicionar subconjunto carcasa inferior para ensamblaje	20 ⁰⁰
2	Pasar FFC por cavidad de carcasa superior	25 ⁰⁰
3	Ensamblar carcasas	20 ⁰⁰
4	Comprobar accionamiento botones y almacenar conj. en blister	35 ⁰⁰
Total tiempo		100 ⁰⁰

TABLA 5.10. Cálculo tiempo ensamblaje subconjuntos

Sumando los tres totales de tiempo de cada proceso se llega al tiempo de montaje total de la botonera ascendiendo a 623⁰⁰. Para tener en cuenta el abastecimiento de las piezas se debe aplicar a este resultado un coeficiente de corrección igual a 1,1 obteniendo así un tiempo total de montaje de la botonera 685⁰⁰.

Teniendo en cuenta que durante el año hay 220 días laborables en los cuales se trabajan 23 horas cada uno se pueden montar un total de 73.868 dispositivos al año contando con una sola línea de producción.

La demanda anual por parte del cliente es de 30.000 dispositivos cosa que implica que será suficiente montar una sola línea de montaje. Para la línea de montaje de la botonera se utilizará un útil específico para montar el rocker y otro para montar el eje alojado en la carcasa inferior con un coste aproximado de 600 € cada uno.

Por otro lado será necesario la fabricación de dos suplementos para la mesa de montaje donde se montará el subconjunto de la carcasa inferior y el subconjunto de la carcasa superior respectivamente. Estos útiles se fabricarán de manera artesanal y serán acoplados a las mesas de montaje mediante unos tornillos. Para la fabricación de estas bancadas se destinará un budget de 6.000 € para cada una. En las siguientes imágenes se puede observar estos suplementos.



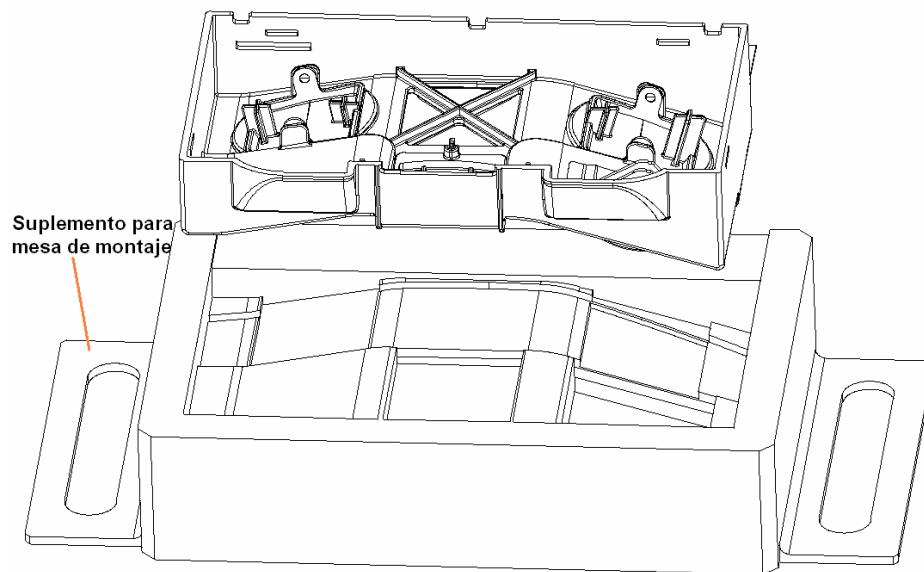


FIG.5.3. Suplemento para el montaje del subconjunto de la carcasa superior

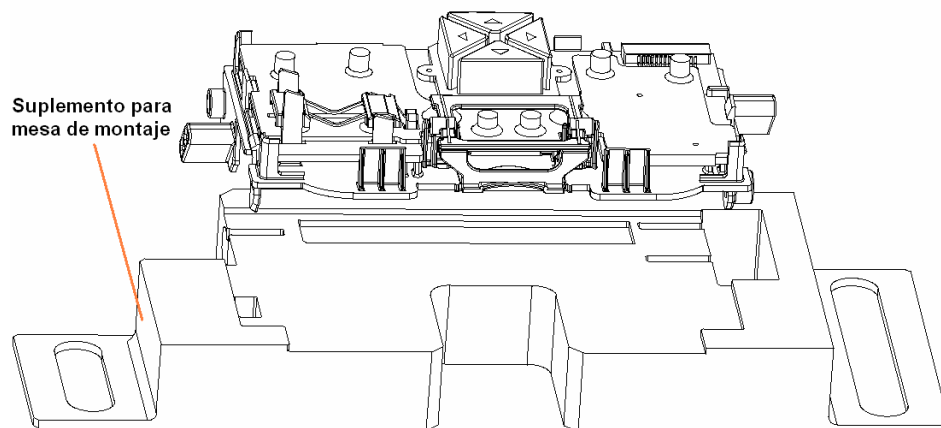


FIG.5.4. Suplemento para el montaje del subconjunto de la carcasa superior

5.2.2. Estudio del proceso de montaje del dispositivo

De manera análoga al apartado anterior en este apartado se calculará el tiempo de montaje requerido para el montaje del dispositivo en cuestión. De nuevo se ha dividido el estudio el proceso del montaje en varios subprocesos expuestos en el apartado 7 de la memoria.

En la tabla expuesta a continuación está desglosado el proceso de montaje de los postizos y calculado el tiempo necesario para llevarlo a cabo.



Num. operación	Operación	Tiempo operación (⁰⁰)
1	Fijar postizo izquierdo a la bancada	20 ⁰⁰
2	Engrasar guías postizo	40 ⁰⁰
3	Posicionar damper	15 ⁰⁰
4	Atornillar damper (2 tornillos)	40 ⁰⁰
5	Engrasar manivela muelle	30 ⁰⁰
6	Colocar manivela muelle	20 ⁰⁰
7	Colocar postizo derecho en bancada	20 ⁰⁰
8	Engrasar guías postizo	40 ⁰⁰
9	Engrasar manivela	40 ⁰⁰
10	Colocar manivela	20 ⁰⁰
11	Desalojar conjuntos de la bancada y almacenar en cajas	50 ⁰⁰
Total		335⁰⁰

TABLA 5.11. Proceso de montaje de los subconjuntos de los postizos

Para el montaje de los postizos se utilizará el suplemento para la mesa de montaje expuesto en la siguiente figura:

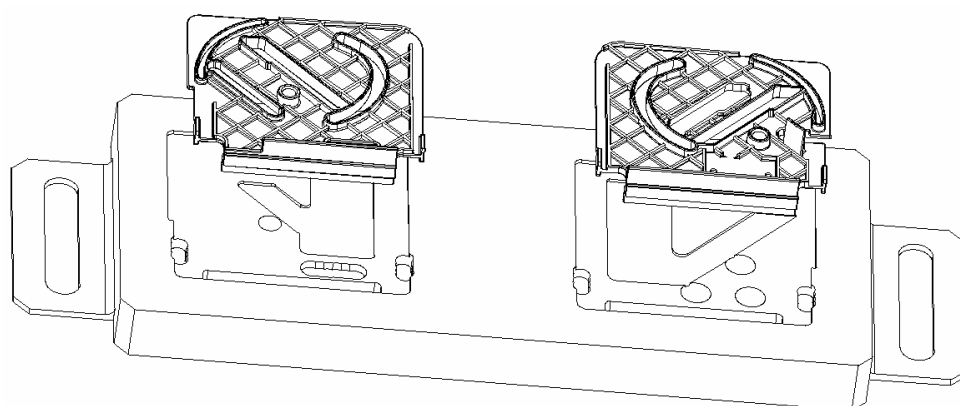


FIG.5.5. Suplemento para la mesa de montaje del dispositivo



A continuación se presenta el estudio del proceso de montaje del subconjunto correspondiente al montaje de la carcasa interior del dispositivo tal como se ha explicado en el proceso de montaje del dispositivo.

Núm. operación	Operación	Tiempo operación (⁰⁰)
1	Fijar carcasa a bancada	20 ⁰⁰
2	Fijar PCB a carcasa interior	68 ⁰⁰
3	Fijar membrana a PCB	35 ⁰⁰
4	Desalojar conjunto bancada y almacenar en caja	25 ⁰⁰
Total		148⁰⁰

TABLA 5.12. Proceso de montaje del subconjunto carcasa interior

En la siguiente tabla se presenta el desglose del proceso de montaje de la carcasa frontal.

Núm. operación	Operación	Tiempo operación (⁰⁰)
1	Fijar carcasa frontal a bancada	20 ⁰⁰
2	Engrasar guía botón abrir	15 ⁰⁰
3	Montar guía con muelle y con corredera	40 ⁰⁰
4	Ensamblar a carcasa conjunto del paso 4 y atornillar (1 torn.)	40 ⁰⁰
5	Ensamblar botón abrir	20 ⁰⁰
6	Ensamblar botones memorias (memorias 1,2 y 3)	60 ⁰⁰
7	Desalojar subconjunto de la bancada y almacenar en caja	25 ⁰⁰
Total		220⁰⁰

TABLA 5.13. Proceso de montaje del subconjunto carcasa frontal



Por último se presenta la secuencia del ensamblaje final del dispositivo en la siguiente tabla.

Núm. operación	Operación	Tiempo operación (⁰⁰)
1	Montar casquillo en botonera y fijarla en el útil de montaje	40 ⁰⁰
2	Engrasar alojamientos tapa y montar casquillos (x2) y ejes(x2)	100 ⁰⁰
3	Montar tapa a subconjunto	20 ⁰⁰
4	Ensamblar subconjuntos de los postizos	80 ⁰⁰
5	Montar retenes a los casquillos(x3)	60 ⁰⁰
6	Montar muelle a manivela (útil)	20 ⁰⁰
7	Posicionar subconjunto carcasa frontal en útil	20 ⁰⁰
8	Ensamblar módulo a subconjunto carcasa frontal	30 ⁰⁰
9	Desalojar carcasa frontal y fijar conjunto a bancada	30 ⁰⁰
10	Montar subconjunto carcasa interior a carcasa frontal (conectar FFC y colocarlo)	40 ⁰⁰
11	Atornillar carcasas (x3 tornillos)	60 ⁰⁰
12	Desalojar carcasa comprobar mecanismo apertura y botones memorias y almacenar en caja	70 ⁰⁰
Total		570⁰⁰

TABLA 5.14. Ensamblaje dispositivo

Para realizar el montaje del módulo del mecanismo de abrir y ensamblarlo en el subconjunto de la carcasa interior ha sido necesario el diseño de un útil específico con el cual el montaje del dispositivo se facilita y se agiliza.

En la siguiente figura se puede observar una imagen de dicho útil el cual irá ensamblado en la mesa de montaje.



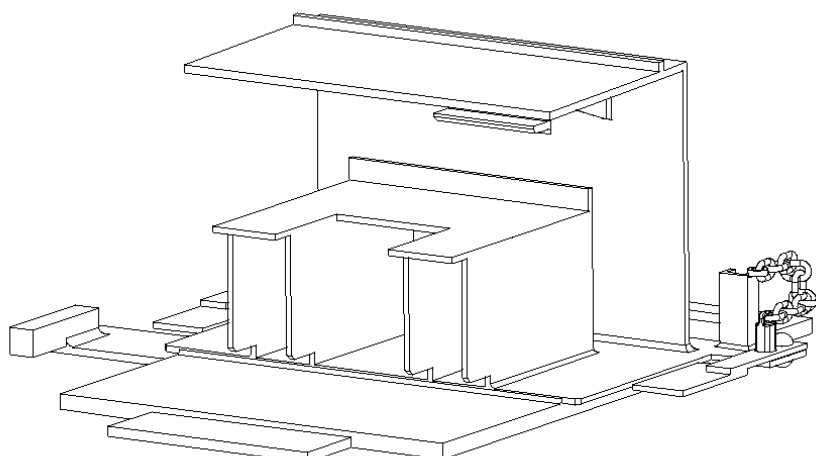


FIG.5.6. Útil de montaje del módulo

A parte de los dos útiles mostrados para el montaje del dispositivo harán falta también dos suplementos para la mesa de montaje más para el montaje de los subconjuntos de la carcasa frontal e interior además de un útil especial para montar el muelle. Para la fabricación de estos útiles se destinarán 10.000 euros para cada suplemento de la bancada y el útil para ensamblar el módulo y 600 euros para el útil de montaje del muelle. Dicho esto solo queda comprobar que con una sola línea de montaje será suficiente para llegar a fabricar los 30.000 dispositivos anuales requeridos. Para ello se ha elaborado la siguiente tabla para calcular el tiempo de montaje total del dispositivo.

Conjunto de operaciones de montaje	Tiempo de montaje (⁰⁰)
Montaje de los subconjuntos de los postizos	335 ⁰⁰
Montaje del subconjunto carcasa interior	148 ⁰⁰
Montaje del subconjunto carcasa frontal	220 ⁰⁰
Ensamblaje final del dispositivo	570 ⁰⁰
Total (⁰⁰)	1273⁰⁰

TABLA 5.15. Total del montaje del dispositivo



Para calcular el tiempo final de montaje hay que aplicarle un coeficiente igual a 1,1 correspondiente al abastecimiento de las piezas. Por lo tanto para acabar de montar el dispositivo será necesario 1400^{00} cosa que implica que la capacidad de producción anual de una sola línea asciende a 36.200 dispositivos anuales.

Como se ha visto esta línea es la crítica en lo que al proceso de fabricación se refiere y por eso se opta por duplicarla y de este modo evitar futuros problemas de capacidad productiva.

5.3. Estudio del test de hardware y de visión

Una vez montado el dispositivo antes de embalarlo para transportarlo a casa del cliente se le debe hacer un test de hardware y visión para acabar de asegurarse que el dispositivo que se va a suministrar está en perfectas condiciones y realiza todas las funciones requeridas correctamente. Para ello se utilizará una máquina especial donde se introducirá el dispositivo y si es positivo el resultado del test imprimirá la etiqueta y la registrará en la base de datos de Lear Corporation.

En la máquina de test se introduce el dispositivo abierto y se le ensamblan dos conectores en sus alojamientos del dispositivo para comprobar las señales de la botonera. La máquina de test acciona los diferentes botones y a través de los conectores se comprueba el correcto funcionamiento de la electrónica del dispositivo. Por otro lado el módulo de visión comprueba que cada botón tenga la serigrafía correcta. Si el dispositivo pasa estas dos pruebas la máquina imprime la etiqueta y el dispositivo se empaqueta definitivamente para enviárselo al cliente.

En el siguiente diagrama de bloques se observa el procedimiento y los tiempos asociados de esta fase del proceso productivo.

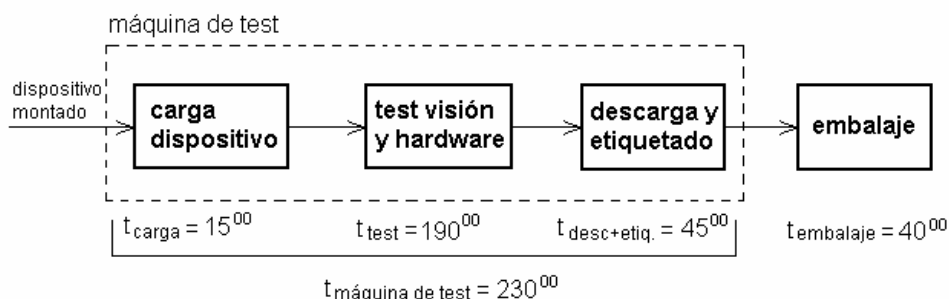


FIG.5.7. Testeado y embalado del dispositivo



Como se ha podido observar la máquina de test necesita 230⁰⁰ para procesar un dispositivo, por lo tanto, si se le aplica un coeficiente de rendimiento igual a 0,85 (85%) anualmente es capaz de procesar 180.000 dispositivos. En el siguiente apartado se podrá observar el coste que tendrá la inversión en esta línea de test.

Por otro lado será necesaria la intervención de un operario para cargar el dispositivo además de descargarlo, etiquetarlo y embalarlo y habrá que tener en cuenta esta mano de obra que asciende a 55⁰⁰.

Respecto al embalaje este dispositivo se encajará en cajas de 14 unidades cada uno en su blister correspondiente.

5.4. Inversiones del proyecto

Una vez analizados los costes derivados de los procesos de montaje y de fabricación se van a estudiar las inversiones necesarias para la implantación de este proyecto.

En el apartado F.1.1. se ha calculado el coste del pintado y laserado de los botones teniendo en cuenta las inversiones ya que se ha considerado que estaba directamente relacionado con el proceso de fabricación de los diferentes botones .

Seguidamente se presenta el desglose de las inversiones de este proyecto.

(1) PROCESO DE MONTAJE	67.400 €
a. Suplemento montaje subconjunto carcasa inferior.....	6.000 €
b. Suplemento montaje subconjunto carcasa superior	6.000 €
c. Útiles para montaje rocker y eje carcasa inferior	1.200 €
d. Suplemento montaje subconjunto carcasa frontal	6.000 €
e. Suplemento montaje subconjunto carcasa interior	6.000 €
f. 2 suplementos montaje módulo movimiento dispositivo	20.000 €
g. 2 útiles para ensamblar muelle a manivela	1.200 €
h. 2 suplementos para montaje de postizos	12.000 €
i. 2 máquinas de atornillar con control de par	6.000 €



j. 3 equipos dosificadores de grasa	3.000 €
(2) PROCESO DE FABRICACIÓN (moldes)	355.900 €
(3) MÁQUINA DE TEST	55.000 €
a. Módulo de visión	25.000 €
b. Módulo de hardware	30.000 €

TOTAL INVERSIÓN 478.300 €

Para calcular el coste unitario del dispositivo se repartirá esta inversión como coste fijo entre los 210.000 que se van a producir tal como se puede observar en el siguiente apartado.



6. PRESUPUESTO

En este apartado se realizará la calculación final teniendo en cuenta todo lo analizado durante todo el capítulo 4 para llegar a un precio unitario para el dispositivo el cual se ofertará cliente. Se han hecho las siguientes consideraciones:

- (1) El coste de ingeniería asciende a 100.000 €
- (2) El coste de administración, compras, comercial, administración, etc... grabará un 20% sobre el precio de fabricación del dispositivo.
- (3) El coste de transporte interno y externo grabará un 15% sobre el precio de fabricación del dispositivo.
- (4) Para la oferta final a cliente se aplicará un 20% adicional como ganancias de la empresa.
- (5) Coste de la mano de obra igual a 19 €/hora

Teniendo en cuenta estas consideraciones queda el siguiente desglose de costes para el precio final del mecanismo.

(1) COSTES DE FABRICACIÓN	15,99 €
a. Manufacturación piezas y compra de componentes	9,64 €
b. Mano de obra (2140 ⁰⁰)	4,07 €
c. Amortización inversión en proceso productivo	2,28 €
(2) INGENIERIA	0,48 €
(3) COMERCIAL, COMPRAS, ADMINISTRACIÓN, etc.	3,20 €
(4) TRANSPORTE INTERNO Y EXTERNO.....	2,39 €
(5) BENEFICIOS	4,41 €
TOTAL	26,47 €



Como se puede observar en el anterior desglose el precio final que se ofrecerá al cliente por suministrarle 30.000 dispositivos anuales durante siete años asciende a 26,47 € por unidad.



7. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

En este apartado se presenta una tabla con las características más importantes de los principales materiales utilizados en este proyecto.

Material	Densidad (Mg/m ³)	Resist. a tracción (MPa)	Alarg. límite elástico (%)	Alarg. de rotura (%)	Módulo elástico (GPa)	Intervalo temperaturas servicio (°C)
Poliamida	1,13	40	20	200 ÷ 300	1,4	-40 ÷ 100
Policarbonato	1,2	63 ÷ 65	6 ÷ 8	65 ÷ 100	2,3 ÷ 2,4	-100 ÷ 130
PBT	1,31	40	4	200	2,6	-40 ÷ 120
POM	1,41	62 ÷ 68	8 ÷ 14	25 ÷ 75	2,8 ÷ 3,1	-40 ÷ 100-120

TABLA 7.1. Propiedades principales materiales plásticos

Por otro lado hay que comentar que la grasa elegida para lubricar las diferentes partes móviles contenidas en este dispositivo G.Beslux ples 778/A de Brugarolas S.A es de alta compatibilidad con plásticos y su rango de temperaturas de comportamiento óptimo está entre -50°C y 150°C.



8. CARACTERÍSTICAS COMPONENTES

En este apartado se tabularán los pesos y los volúmenes de las diferentes piezas que componen este dispositivo.

En la siguiente figura se puede observar la botonera explosionada con sus partes identificadas.

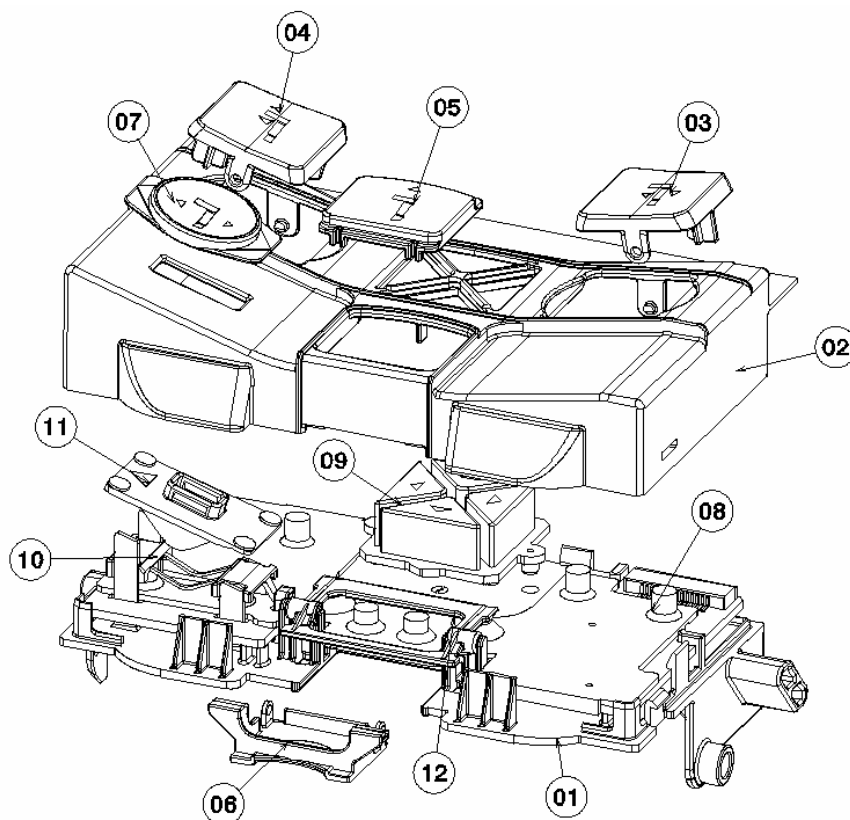


FIG 8.1. Explosión de la botonera

A continuación se presenta una tabla donde se incluyen las principales características físicas de los componentes señalados en la figura anterior.



Núm. pieza	Denominación	Cantidad	Material	Volumen (cm ³)	Peso (gr.)
01	Carcasa inferior	1	Poliamida	14,1	18,9
02	Carcasa superior	1	Poliamida	18,8	25,2
03	Botón reclinar respaldo	1	Polycarbonato	1	1,2
04	Botón reclinar asiento	1	Polycarbonato	1	1,2
05	Botón bajar asiento	1	Polycarbonato	0,9	1,1
06	Botón subir asiento	1	Polycarbonato	0.8	1
07	Botón mover asiento	1	Polycarbonato	0,6	0,8
08	Membrana	1	Silicona y grafito	-	8,2
09	Membrana lumbar	1	Silicona y grafito	-	7,2
10	Actuadores	1	POM	0,25	0,3
11	Slider	1	POM	0,8	1
12	Rocker	1	POM	0,25	0,3

TABLA 8.1. Características físicas de las piezas de la botonera

Hay que remarcar que las mediciones de volúmenes se han obtenido a través del modelo 3D hecho en Catia v5 y que los pesos son resultado de aplicar la densidad de su correspondiente material a cada volumen.

Una vez vistas las características de las piezas que componen la botonera se procede a hacer lo mismo con las piezas que componen el resto del dispositivo. A continuación se puede observar una tabla que define las características físicas de cada componente.



Núm. pieza	Denominación	Cantidad	Material	Volumen (cm ³)	Peso (gr.)
01	Carcasa frontal	1	Poliamida	89,8	120,3
02	Carcasa interior	1	Poliamida	40	53,6
03	Postizo izquierdo	1	PBT	12	15,7
04	Postizo derecho	1	PBT	12,3	16,1
05	Tapa	1	Poliamida	17	22,3
06	Manivela muelle	1	PBT	1,9	2,5
07	Manivela guías	1	PBT	2,7	3,5
08	Casquillo	3	PBT	0,13	0,2
09	Retén	3	Poliamida	0,06	0,1
10	Eje tapa	2	PBT	0,05	0,1
11	Botones memorias ^{1,2,3}	3	Policarbonato	3,5	4,2
12	Eje	1	PBT	0,27	0,4
13	Guías botón abrir	1	Poliamida	1	1,3
14	Botón abrir	1	Policarbonato	2,1	2,6
15	Corredera	1	Poliamida	0,9	1,1
16	Membrana	1	Silicona y grafito	-	3,8

TABLA 8.2. Características físicas de las piezas del dispositivo

En la siguiente figura se puede observar el modelo 3D explosionado con cada componente de la tabla anterior identificado.



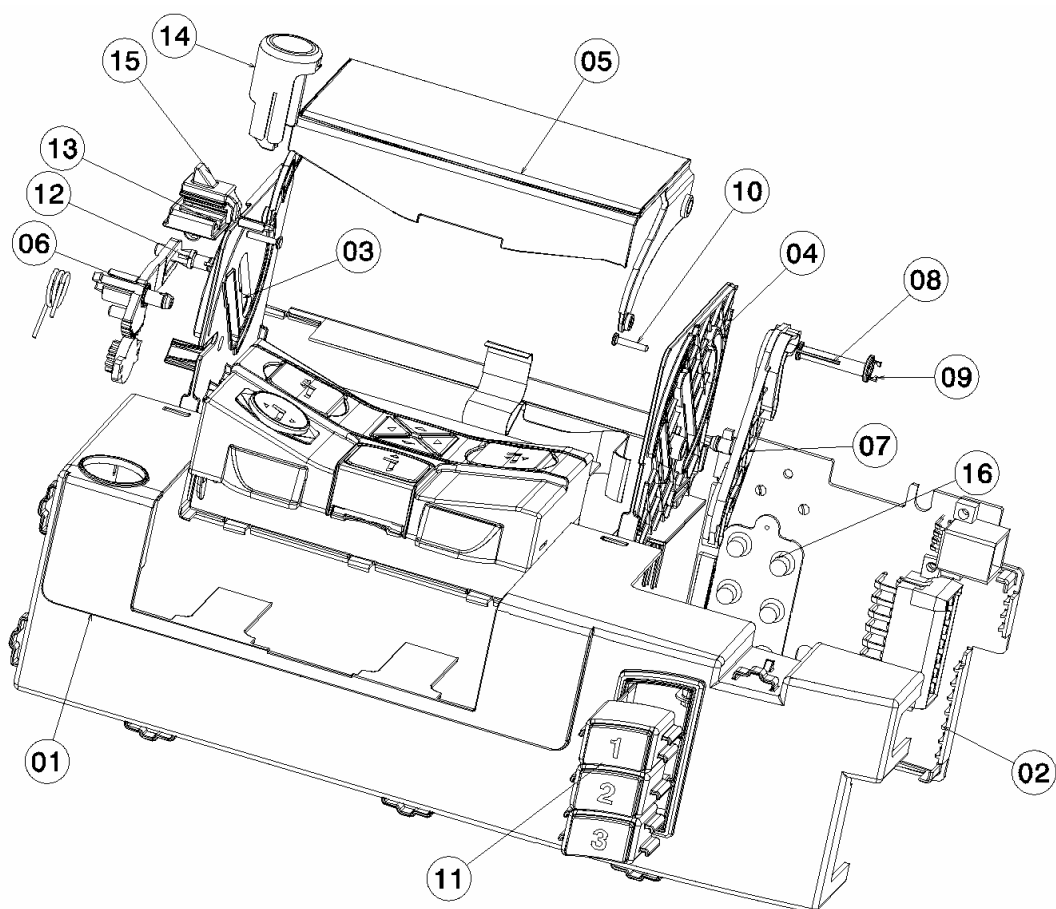


FIG.8.2. Dispositivo explosionado



9. RECICLAJE DEL PRODUCTO

En este apartado se darán las instrucciones para el reciclaje del producto una vez finalizada su vida útil.

Al llegar al punto en que el dispositivo llegue al final de su vida útil este deberá ser desmantelado y se tratarán cada una de sus partes según la legislación vigente. Todavía está por concretar si la responsabilidad del reciclado de este dispositivo recae en la empresa distribuidora del mecatrónico o por otra parte en el distribuidor de automóviles en el que va montado. Si esta responsabilidad formara parte de las obligaciones de la empresa productora del dispositivo se debería negociar la parte del coste que recaería en cada parte.

En este dispositivo hay tres tipos de residuos:

- (1) Residuos plásticos: Los componentes plásticos deberán ser transportados a una planta especializada en reciclaje de materiales de este tipo.
- (2) Grasas o lubricantes: La grasa que todavía permanezca en el dispositivo irá adherida a algunas de las piezas plásticas y la empresa de reciclaje de plástico se encargará de la separación y correcta gestión de estas sustancias. Por otro lado el proveedor de esta grasa tiene todos los certificados medioambientales actualizados según la legislación vigente.
- (3) Componentes electrónicos y eléctricos: Las placas electrónicas están formadas por dos tipos de componentes: la PCB y los diferentes componentes electrónicos. Por un lado hay que comentar que la PCB se puede reciclar por completo para su posterior reutilización. Este proceso de reciclado se deberá realizar en un centro especializado.

Por otro lado están los diferentes componentes electrónicos (resistencias, PIC's,...) que forman el conjunto del circuito integrado junto con la PCB. Estos deben cumplir por separado la directiva WEEE 2002/96/CE que trata acerca de reciclaje y restricciones de estos tipos de componentes en la CE. Una vez separados deben ser trasladados a un centro de tratamiento de residuos especializados para su correcta gestión.

Hay que destacar también que en las soldaduras que se realizan en la factoría de Lear Corporation el material de aportación es una aleación sin plomo SAC305.



Por último hay que añadir también que en la etiqueta del dispositivo completo debe aparecer el siguiente anagrama junto a la fecha de producción:



FIG 9.1. Anagrama para indicar que el producto contiene componentes electrónicos

Con este anagrama queda indicado que en este dispositivo están montados componentes electrónicos que deben ser gestionados según las instrucciones de la directiva WEEE 2002/96/CE.



Bibliografía

Referencias bibliográficas

LARBURU N. *Máquinas. Prontuario*. Editorial Thomson – Paraninfo, 1989.

RIBA C. *Disseny i càlcul de molles*. Barcelona, Edicions UPC, 1995.

Guías de diseño de membranas de Dätwyler i/o Devices

[<http://www.diod.com>, 10 de Octubre de 2006]

Información referente a la directiva WEEE 2002/96/CE

[http://www2.uca.es/grup_invest/cit/Union%20Europea.htm, 10 de Octubre de 2006]

Bibliografía complementaria

CARDONA S., CLOS D. *Teoria de màquines*. Barcelona, Edicions UPC, 2000.

CHEVALIER, A. *Dibujo Industrial*. Editorial Nimusa, 2002.

RIBA C., *Disseny de màquines IV. Selecció de materials 2*. Barcelona, Edicions UPC, 1997.

